

# **Zkrácení doby chlazení úpravou kritického místa vstřikovaného dílu**

## **Reduced cooling time by adjusting critical point of injection molded product**

### **Anotace**

Práce se zabývá snižováním doby chlazení úpravou kritického místa vstřikovaného dílu. V teoretické části je popsán vstřikovaný díl, příslušný materiál, technologie vstřikování, konstrukce forem a dílů, vznikající vady a jejich řešení. V experimentální části jsou uvedeny konkrétní údaje k problematice se zaměřením na konstrukci formy v kritickém místě vstřikovaného dílu.

*Klíčová slova:* vstřikování, doba chlazení, konstrukce forma, vstřikovaný díl, vady, plast, kritické místo, RPS bod

### **Annotation**

Wotk is aimed at reducing the cooling time adjusting critical point injection molded part. The theoretical part describes injection molded part, relevant material, injection technology, design of molds and parts, emerging defects and their solutions. In the experimental section provides specific information on the issue, focusing on the design of the mold at the critical point injection molded part.

*Key words:* injection molding, cooling time, mold design, injection-molded part, defect, plastic, critical point, RPS point

## **Poděkování**

Děkuji panu prof. Dr. Ing. Petrovi Lenfeldovi za cenné rady a odborné vedení při psaní této diplomové práce a také děkuji své přítelkyni Bc. Elišce Krejbichové, která mi byla oporou po celou dobu psaní.

Diplomová práce vznikla na základě finanční podpory projektu studentské grantové soutěže /SGS 21005/ ze strany Technické univerzity v Liberci v rámci podpory specifického vysokoškolského výzkum

## Obsah

1. Úvod.....	9
2. Denso Manufacturing Czech s.r.o. a klimatizační jednotky .....	10
3. Plasty.....	13
3.1. Termoplasty .....	13
3.1.1. Polypropylen, talek a jejich směs .....	14
4. Technologie výroby klimatizačních skříní .....	17
4.1. Princip vstřikování .....	19
4.1.1. Doba chlazení.....	22
4.2. Vady způsobené technologickými parametry .....	24
5. Konstrukce vstřikovacích forem.....	24
5.1. Temperační systém.....	25
5.1.1. Charakteristika temperačního systému .....	26
5.2. Vady způsobené konstrukcí formy.....	28
6. Konstrukce vstřikovaného dílu .....	28
6.1. Tloušťka stěny .....	29
6.2. Konstrukce žeber .....	30
6.3. Konstrukce výstupků .....	30
7. Vady u vstřikovaných dílů.....	31
7.1. Staženiny a propadliny .....	32
7.2. Vzduchové bubliny.....	33
8. Experimentální část.....	34
8.1. Specifikace a popis výstřiku.....	35
8.2. Detail kritického místa .....	36
9. Vstřikovací forma pro experiment.....	36
9.1. Pevná strana vstřikovací formy .....	37
10. Vstupní technologické parametry experimentu .....	38

11.	Experiment s původní konstrukcí formy .....	38
11.1.	Zkracování doby chlazení .....	39
11.2.	Nedestruktivní měření otvoru výstupku .....	40
11.2.1.	Určení zúženého průměru otvoru .....	41
11.2.2.	Určení zkrácení hloubky otvoru pro šroub .....	43
11.3.	Destruktivní měření otvoru výstupku .....	44
11.3.1.	Měření na digitálním mikroskopu .....	46
11.4.	Závěr experimentu RPS bodu s původní konstrukcí formy .....	48
12.	Experiment s upravenou konstrukcí formy .....	50
12.1.	Experiment RPS bodu s konstrukčními úpravami .....	52
12.1.1.	Zkracování doby chlazení s upravenou vložkou ve formě .....	52
12.1.2.	Měření průměru otvoru výstupku .....	53
12.1.3.	Měření na digitálním mikroskopu .....	53
12.1.4.	Zkouška krouticího momentu .....	54
12.2.	Dopad změn na ekonomiku výroby .....	56
13.	Vyhodnocení .....	57
14.	Závěr .....	61
15.	Použití literatura .....	62
16.	Seznam příloh .....	64



## Seznam použitých zkratk

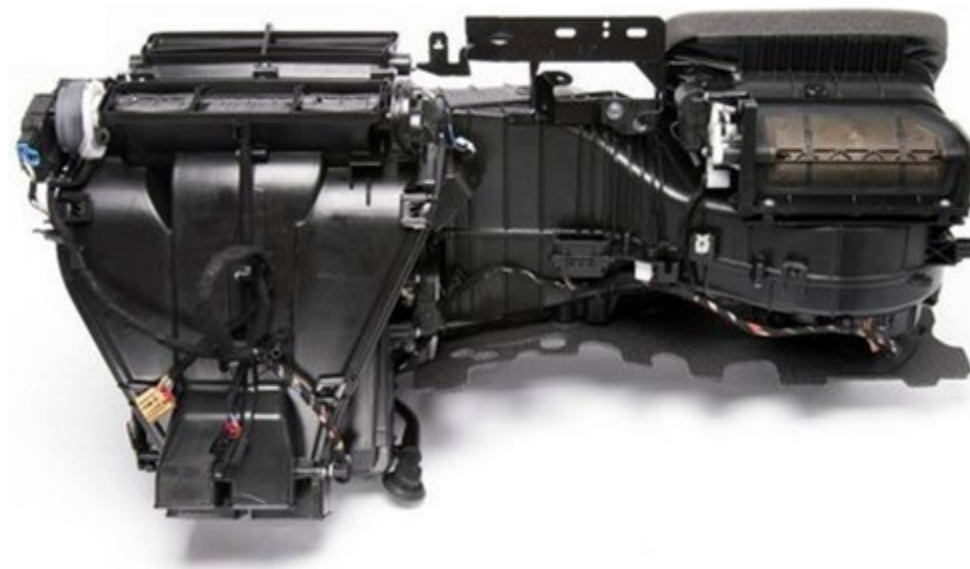
Zkratka	Jednotka	Význam
$T_g$	$^{\circ}\text{C}$	teplota skelného přechodu (teplota zesklenní)
$T_m$	$^{\circ}\text{C}$	teplota tání krystalického podílu (SK plasty)
$p_i$	MPa	vnitřní tlak v dutině vstřikovací formy
$t_{s1}$	s	čas přisunutí, uzavření a uzamknutí formy
$F_p$	N	síla vynaložená na přisunutí formy
$F_u$	N	síla vynaložená na uzavření formy ( $F_u > F_p$ )
$t_{s2}$	s	čas přisunutí tavicí komory k formě
$t_v$	s	doba plnění formy taveninou
$t_{ch}$	s	doba chladnutí od vyplnění formy do vyhození
$t_d$	s	doba dotlaku
$t_{pl}$	s	doba plastikace
$t_k$	s	doba odsunutí tavicí komory od formy
$t_{s3}$	s	doba otevření formy
$t_{s3'}$	s	doba vyhození výstřiku z formy
$t_m$	s	čas pro obsluhu formy (manipulační čas)
$S_N$	mm	pohyb formy
$S_K$	mm	pohyb šneku
$t_{kp}$	s	doba prodlevy tavicí komory v zadní poloze
$s_{max}$	mm	maximální tloušťka stěny výstřiku
$T_{tav}$	$^{\circ}\text{C}$	teplota taveniny plastu
$T_f$	$^{\circ}\text{C}$	teplota vstřikovací formy
$\vartheta_K$	$^{\circ}\text{C}$	teplota stěny temperačního kanálu
$\vartheta_T$	$^{\circ}\text{C}$	teplota chladiwa v temperačním kanálu
$\vartheta_{F1,F2,F3}$	$^{\circ}\text{C}$	teplota stěny tvarové dutiny formy
$T$	$^{\circ}\text{C}$	teplota
$d$	mm	průměr
$h$	mm	hloubka otvoru k místu, kde je nejmenší průměr
$h_d$	mm	vzdálenost mezi nejmenším průměrem otvoru a dnem otvoru
$H$	mm	hloubka otvoru bez ohledu na nejmenší průměr

## 1. Úvod

Vstřikované výrobky mají v dnešní době dominantní postavení na trhu. Lze je nalézt téměř ve všech nejruznějších aplikacích. Velký rozvoj v oblasti vstřikování byl zaznamenán v posledních letech z důvodu velkého využívání plastů. Ve světě i u nás se vstřikování plastů stalo tradičním oborem a zabývá se jím mnoho firem v nejruznějších odvětvích jako je potravinářství, zdravotnictví, automobilový průmysl, apod.

Tato diplomová práce byla zadána ve spolupráci s Denso Manufacturing Czech s.r.o. v Liberci. Tato firma patří mezi přední dodavatele klimatizačních systémů (obr. 1.1) do automobilového průmyslu. Zabývá se výrobou tepelných jader, kondenzátorů, radiátorů, zkrátka oblastí zpracování kovů. Druhou podstatnou činností je vstřikování skříní klimatizačních jednotek, kde se celý mechanismus přeměny teplot skrývá. A právě touto částí výrobního procesu se diplomová práce bude zabývat.

Cílem diplomové práce je zkrácení doby chlazení, která má největší vliv na celkovou dobu vstřikovacího cyklu a tím zvýšit produktivitu při zachování požadované jakosti výstřiků.



Obr. 1.1: Klimatizační jednotka DMCZ [1]

## 2. Denso Manufacturing Czech s.r.o. a klimatizační jednotky

DMCZ se nachází v liberecké Průmyslové zóně - Jih (obr. 2.1), je dceřinou firmou společnosti Denso International Europe B.V a Denso Europe B.V a součástí japonské nadnárodní skupiny DENSO CORPORATION.

DENSO CORPORATION sídlí v japonském městě Kariya, v prefektuře Aichi. Od svého založení v roce 1949 rozšířilo svůj vliv především díky průkopnickému výzkumu a vynikající kvalitou svých výrobků. Je předním světovým dodavatelem moderních technologií, systémů a jejich součástí. V oborech klimatizace, řídicích systémů motorů, elektroniky, kontroly řízení a bezpečnosti silničních vozidel, stejně jako v oborech informatiky a komunikace spolupracuje Denso s hlavními výrobci automobilů po celém světě.

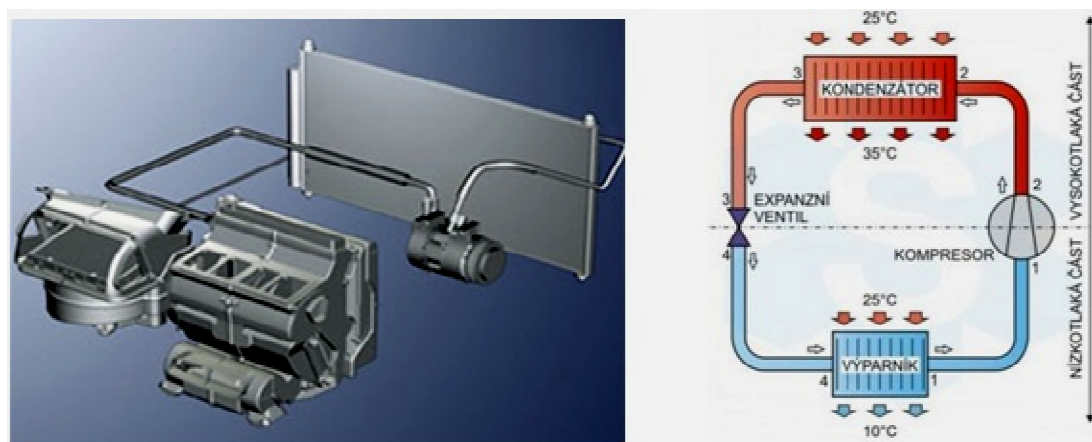
Programem DMCZ je výroba automobilových klimatizací a jejich součástí. Cílový zákazník, majitel nového automobilu, tento výrobek sice nevidí, a kromě ovládacího panelu se jej nemůže vlastně ani dotýkat, ale přítomnost této klimatizace v zákaznickově voze zajistí požadovanou vnitřní teplotu. [1]



Obr. 2.1: DMCZ v liberecké Průmyslové zóně - Jih [1]

Princip funkce klimatizace v automobilech se nijak neliší od principu ostatních chladících zařízení jakými jsou například lednice, domácí klimatizace, chlazené vitríny apod. Teplo je z interiéru vozidla nepřímo odnímáno prostřednictvím teponosné cirkulující látky (chladiwa). Chladio je v oběhu podrobena celé řadě termodynamických změn, po kterých se opět vrací do výchozího stavu. Jedná se zejména o kompresi, sdílení tepla, expanzi a škrcení. Chladicí účinek dosažený vypařováním chladiwa a potřebný tlak pro vypařování se dosahuje pomocí mechanicky poháněného kompresoru. Chladio musí být stlačené na takový tlak,

aby bylo schopné kondenzace odváděním tepla do prostředí, které je k dispozici. Principiální schéma oběhu, ve kterém se kompresorový chladicí okruh prakticky uskutečňuje, je znázorněno na obrázku 2.2. [2]



Obr. 2.2: Struktura a princip klimatizačního systému [2] [3]

### Fáze procesu

#### 1-2 Komprese

Kompresor zajišťuje odsávání par chladiva z výparníku při tlaku výparném a jejich stlačování na tlak kondenzační.

#### 2-3 Kondenzace

Probíhá ve výměníku tepla, v němž je teplo ze stlačených par odváděno sdílením zpravidla do okolí, při čemž páry chladiva kondenzují.

#### 3-4 Škrčení

Uskutečňuje se v průtočném orgánu, kde v důsledku podstatného zúžení průtočného průřezu dochází k izoentalpické ( $h = \text{konst.}$ ) expanzi z tlaku kondenzačního na tlak výparný.

#### 4-1 Vypařování

Vypařování chladiva ve výparníku je spojeno s odvodem tepla z vychlazovaného prostoru. Tímto izotermicko-izobarickým pochodem při výparném tlaku přechází chladivo z mokré páry na páru sytou. Takto je do chladiva sdílen tepelný příkon, který je v chladicí technice označován jako chladicí výkon.

Z výparníku jsou páry chladiva zpět nasávány kompresorem a tím je celý oběh uzavřen. [2]

V DMCZ je výroba klimatizačních jednotek pro každého zákazníka jiná tak, aby splňovala požadavky pro každý model automobilu. Přihlíží se na prostorové uspořádání, formu ovládání, apod. Je srdcem celého klimatizačního systému. Potkávají se zde vzduchový, chladicí a topný okruh.

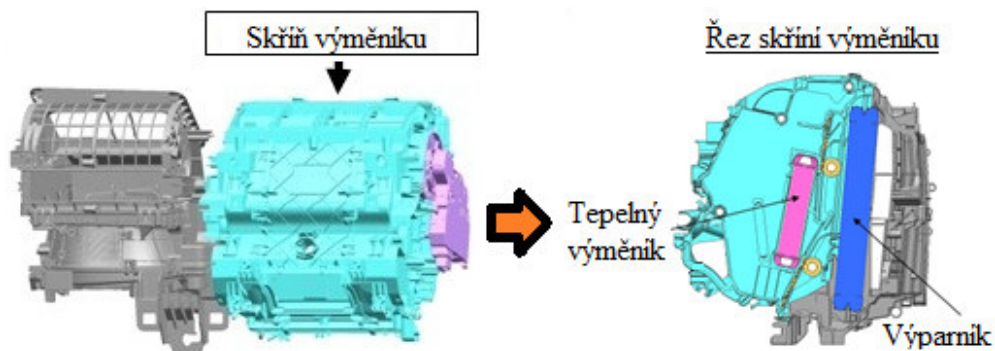
Hlavní části klimatizační jednotky jsou skříň výměníku, skříň ventilátoru a skříň směšovací komory (obr. 2.3), v některých případech i rozdělovací skříň. V každé této "skořápce" je zabudovaný mechanismus pro správnou a výkonnou funkci klimatizace.



Obr. 2.3: Jednotlivé části klimatizační jednotky [4]

Pro experimentální část práce je podstatnou částí skříň výměníku, proto se jí v dalším textu nadále zabývám. Zanedbá se vnitřní stavba skříně ventilátoru a směšovací komory.

Ve skříní výměníku je výparník, který ochlazuje a odstraňuje vlhkost vzduchu uvnitř vozidla prostřednictvím výměny tepla chladiva. Dalším podstatným tělesem ve skříní je tepelný výměník, který ohřeje část vzduchu přiváděného z výparníku prostřednictvím výměny tepla chladicí kapaliny z motoru, tak aby byl do kabiny vozidla vháněn vzduch s požadovanou teplotou. Obecné umístění obou jader je uvedeno na obrázku 2.4.



Obr. 2.4: Skříň výměníku včetně řezu [5]

Vnitřní stavba skříně výměníku je, kromě topného a výparného jádra, souhrn klapek mezi komorami a jejich řízení dle požadavků uživatele, tedy manuální pomocí mechanických prvků, nebo automatické pomocí servomotorů. Řízené klapky ovlivňují vstupní teplotní podmínky do kabiny automobilu.

### 3. Plasty

Plasty nebo-li polymery představují látky, jejichž strukturu tvoří makromolekulární řetězce (makromolekula = molekula řetězovitého typu tvořená tisíci až miliony atomů). Například kovy mají strukturu zcela odlišnou, tvořenou krystalickými mřížkami. Plasty dělíme na tři základní druhy:

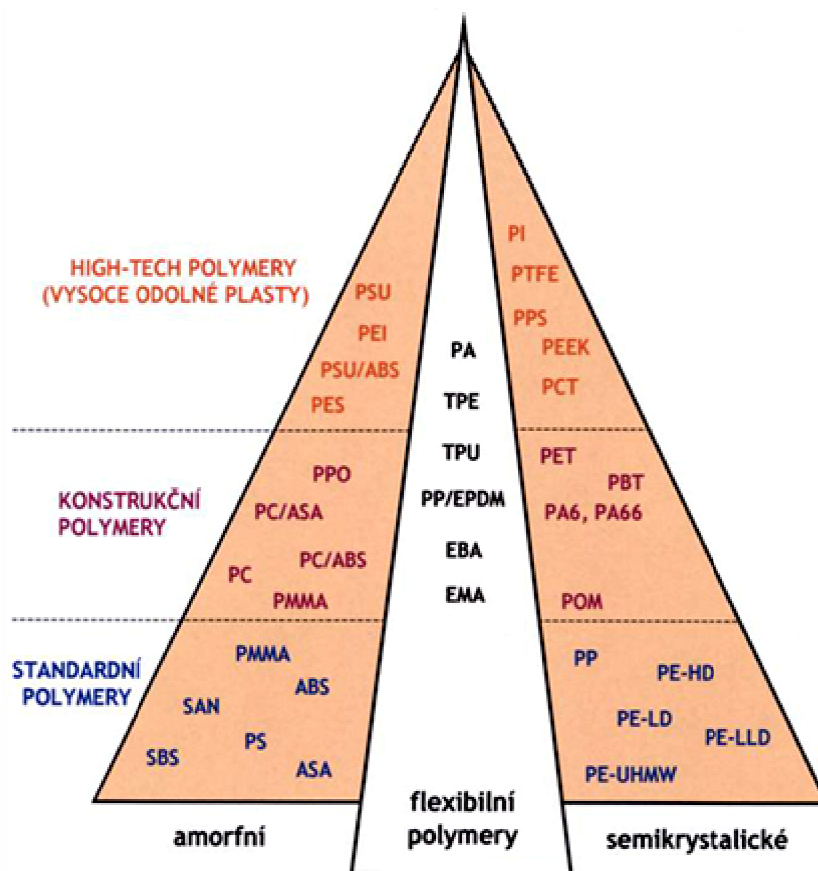
- **termoplasty**, mají řetězce přímé (lineární polymery), nebo řetězce s bočními větvemi (rozvětvené polymery). Při ohřevu termoplastů dochází k uvolnění soudržnosti řetězců a hmota se stává viskózní. V tomto stavu ji můžeme zpracovávat. Po ochlazení se vrátí do původního pevného stavu.
- **reaktoplasty**, mají v konečné fázi zpracování řetězce příčně propojeny chemickými vazbami a vytváří prostorovou trojrozměrnou síť. Ohřevem tato síť zvětšuje svoji pohyblivost, avšak řetězce se zcela neuvolní. Při zpracování vlivem teploty a tlaku nastává zesíťování (vytvrzování) plastu (někdy i za působení katalyzátoru).
- **kaučuky a pryže**, mají původní řetězce velmi ohebné a hustota sítě je přiměřená. Hmota za normální teploty je poddajná a pružná

U reaktoplastů, kaučuků a pryží se při nadměrném ohřevu přetrhají chemické vazby. Tím dojde k rozrušení hmoty a ztrátě pevnosti. Tento proces je nevratný a nazýváme ho degradace hmoty. Další zpracování již není možné. [6]

#### 3.1. Termoplasty

Termoplasty (obr. 3.1) jsou nejrozšířenější plasty. Dělíme je na semikrystalické a amorfní. Dále se rozdělují podle uspořádání makromolekul na lineární, rozvětvené a síťované. Výrobci dodávají termoplasty ve formě granulí, prášků, desek, bloků, vláken a profilů. Tyto plasty působením zvýšené teploty na hranici teploty tání (semikrystalické) nebo teplotě viskózního toku (amorfní) měknou. Za tohoto plastického stavu se dají tvarovat ohýbáním, tažením, lisováním a vyfukováním. Dalším zahříváním přechází do fáze taveniny, kde je lze zpracovávat

dalšími technologiemi (např. vstřikováním). Ochlazením opět ztuhnou, aniž by se podstatně změnily jejich původní vlastnosti. Jde o fyzikální proces, který lze teoreticky stále opakovat. [6]



Obr. 3.1: Rozdělení polymerů podle aplikace a nadmolekulární struktury [7]

### 3.1.1. Polypropylen, talek a jejich směs

Polypropylen je výchozí materiál pro výrobu skříní klimatizační jednotky (obr. 3.2), proto jsou v dalším textu uvedeny jeho vlastnosti. Tato část je také zaměřena na talek, který je plnivem PP, společně tvoří materiál s požadovanými vlastnostmi pro tuto aplikaci.

Polypropylen je semikrystalický polymer ze skupiny polyolefinů. Vlastnosti PP jsou značně závislé na stereoisometrii, která popisuje prostorové uspořádání atomů v řetězci makromolekul (tab. 3.1). V případě zmíněných klimatizací, ale i jiných technických výrobků, se používá polypropylen s izotaktickým uspořádáním, který vykazuje nejlepší vlastnosti. Typické vlastnosti polypropyleny jsou uvedeny v tab. 3.2.



Tab. 3.1: Vlastnosti polypropylenu (PP) v závislosti na prostorovém uspořádání substituentů v makromolekule - stereoisometrie [8]

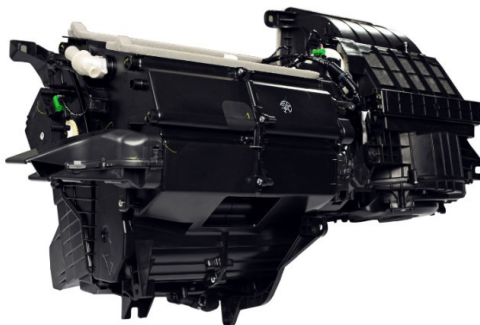
Polypropylen	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	T <sub>m</sub> [°C]	R <sub>m</sub> [MPa]	Rozpustnost v uhlovodících pro 23°C
Izotaktický(čistý)	0,905÷0,920	176	vysoká	nerozpustný
Syndiotický	0,890÷0,910	135	střední	středně rozpustný
Ataktický	0,850÷0,900	nemá	velmi nízká	snadno rozpustný

Tab 3.2: Typické vlastnosti PP použitého na skříně klimatizační jednotky [8]

Polypropylen	Stupeň krystalinity [%]	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	T <sub>m</sub> [°C]	E [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]
Izotaktický	60÷70	0,905÷0,920	160÷176	1100÷1500	34÷38

Výchozí surovinou PP je propylen (propen), získaný z propanu, který je obsažen v zemním plynu a v rafinačním plynu při zpracování ropy. Způsobem výroby i použitím se velmi podobá polyethylen (v porovnání s PE je však tvrdší a tužší). Je velmi lehký, bezbarvý, fyziologicky nezávadný a teplotně odolný. Krátkodobě snáší tepelné zatížení až 140°C. Je vysoce odolný vůči chemikáliím a rozpouštědlům. Vyniká výbornými dielektrickými vlastnostmi. Má však nízkou houževnatost za nižších teplot (ISO 179-1/1eA 2,2C\*). Pro venkovní použití musí být stabilizován aditivami. Při zpracování vykazuje nejnížší závislost na kolísání technologických parametrů.

Vzhledem k jeho výhodným vlastnostem se polypropylen uplatňuje pro širokou oblast aplikací. Používá se nejenom na výrobu technických dílů, ale i obalů v potravinářství, výrobu fólií a desek, vláken pro výrobu technických tkanin i pro ruční pletení a výrobu koberec. Hojně nachází využití při výrobě hraček, nádob, součástí elektrických spotřebičů, apod. [6]

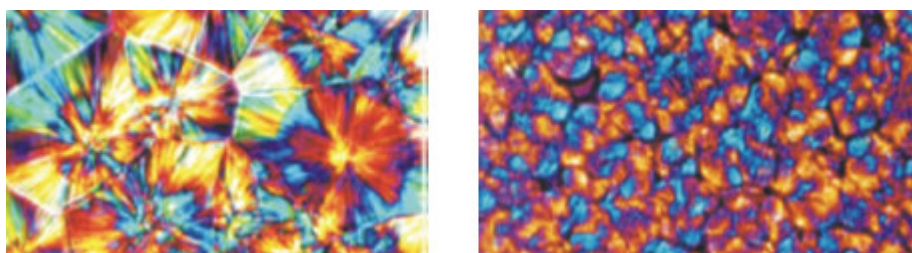


Obr. 3.2.: Klimatizační jednotka tvořená výstřiky PP s 20% talku [4]



V případě požadavků lze vlastnosti PP upravovat pomocí přísad a tak dosáhnout požadovaných vlastností i u náročnějších aplikací, jako jsou například klimatizační jednotky. Mezi takové přísady patří například talek, který v našem případě tvoří 20% objemu materiálu s PP u dílů plastových skříních vyráběných DMCZ.

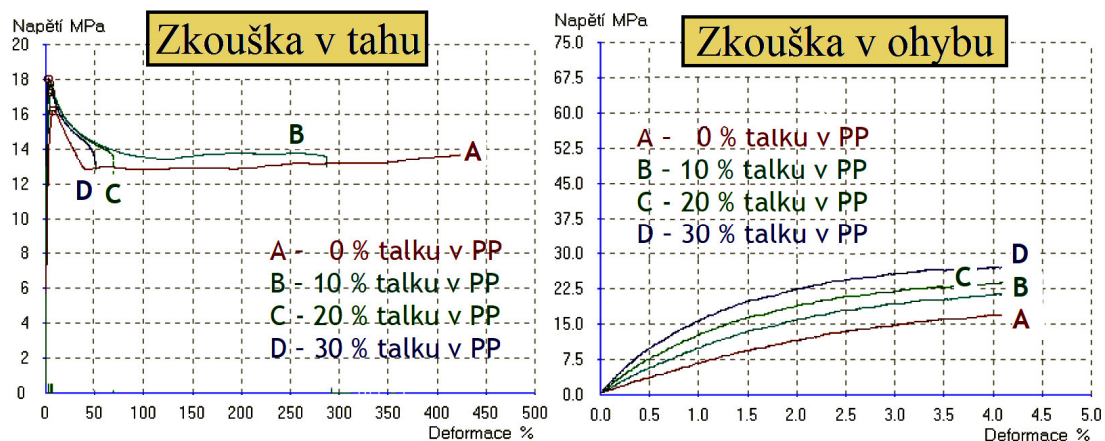
**Talek**, jinak označovaný jako mastek nebo steatit, je anorganické minerální plnivo na bázi křemičitanu. Vykazuje vysokou odolnost proti teplotám a kyselinám. Má dobré elektroizolační vlastnosti a do polypropylenu se přidává v množství až 40%. S jeho přítomností se zvyšují mechanické vlastnosti a snižuje se tekutost. Talek plní funkci nukleačního činidla, a tím lze získat větší poměr krystalické fáze (obr. 3.3). Zároveň zrychluje dobu vstřikovacího cyklu a zmenšuje se díky němu smrštění. Samotný talek má zpravidla bílou barvu a výrobci jej nejčastěji prodávají v podobě prášků.



Obr. 3.3: Sféroility PP bez přísad (vlevo) a PP s talkem (vpravo) [9]

Na obrázku 3.4 je graficky uveden vliv procentuelního obsahu talku v polypropylenu na mechanické vlastnosti, konkrétně při zkoušce v ohybu a v tahu. Z grafu je patrné, že s rostoucím procentem talku v PP vzrůstá pevnost a klesá tažnost. U zkoušky v tahu je vidět pokles tažnosti (deformace %).

Dále je v tab. 3.3 uveden vliv procentuelního obsahu talku na délku spirály při technologické zkoušce zabíhavosti taveniny polymeru. Tab. 3.4 popisuje hodnoty mechanických vlastností materiálu použitého na skříně klimatizačních jednotek ve vztahu k "čistému" PP.



Obr. 3.4: Průběh tahového a ohybového napětí v závislosti na množství talku v PP  
Kelburon 95610 [10]

Tab. 3.3: Spirálová zkouška zabíhavosti PP s různým obsahem talku [10]

	PP+0% talku	PP+5% talku	PP+10% talku	PP+15% talku	PP+20% talku	PP+25% talku	PP+30% talku
délka spirály [cm]	27,4±0,3	26±0,2	27±0,3	26,8±0,2	26,5±0,2	25,2±0,4	25,1±0,3

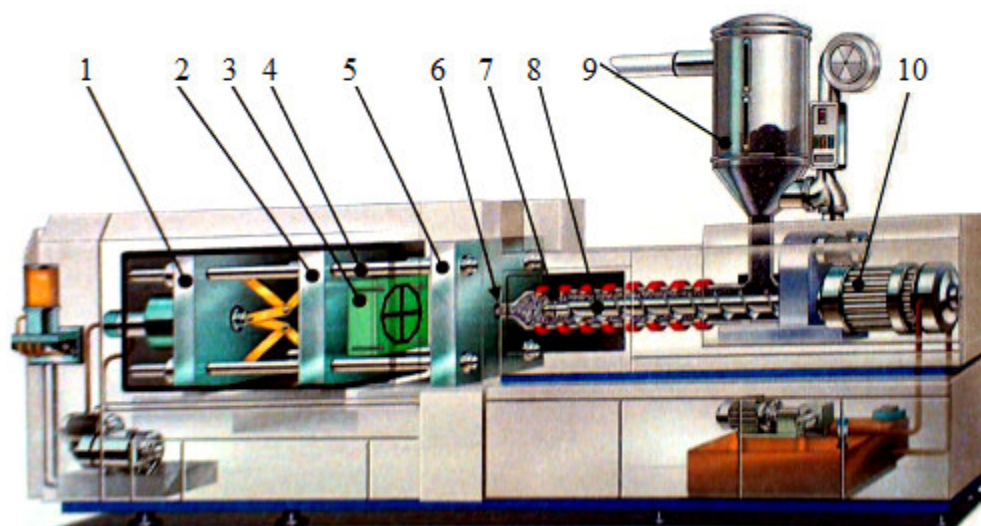
Tab. 3.4: Porovnání mechanických vlastností čistého PP a PP s 20% talku [11]

	PP	PP + 20% talku
velikost částic [μm]	-	1,5
R <sub>m</sub> v ohybu [MPa]	41	63
E v ohybu [GPa]	0,98	2,72
R <sub>m</sub> v tahu [MPa]	31	40
Tvrdost povrchu	52	52
Izod [J/m <sup>2</sup> ]	46	45

#### 4. Technologie výroby klimatizačních skříní

Skříně klimatizačních jednotek jsou tvarově složité výrobky, které se vyrábí technologií vstřikování. Tato technologie je vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu a představuje jednu z nejdůležitějších technologií zpracování termoplastů vůbec. Jedná se o diskontinuální a cyklický proces s vysokou rozměrovou přesností.

Zařízení pro vstřikování plastů sestává z vlastního vstřikovacího stroje a z regulační a řídicí soustavy. Vstřikovací stroj (obr. 4.1) má dvě na sobě závislé jednotky, a to vstřikovací jednotku a uzavírací jednotku. Úkolem vstřikovací jednotky je zajistit dávkování granulátu, jeho plastikaci, vstříknutí roztavené hmoty do formy, provedení dotlaku a zajištění dalších pohybů tavící komory, tj. její odsunutí a přisunutí k formě. Uzavírací jednotka stroje zajišťuje pevné uzavření vstřikovací formy během plnění a dotlaku a všechny pohyby formy nutné k vyhození hotového výrobku z formy. Regulační a řídicí zařízení zabezpečuje poloautomatický nebo plně automatický provoz stroje a samočinné dodržování nastavených technologických parametrů, k nimž patří teplota taveniny, vstřikovací tlak, dotlak, rychlost vstřikování, teplota formy a časové rozčlenění vstřikovacího cyklu například doba chlazení nebo doba dotlaku.. Podle ČSN se výrobek získaný vstřikováním nazývá výstřik. [12]



Obr.4.1: Vstřikovací stroj

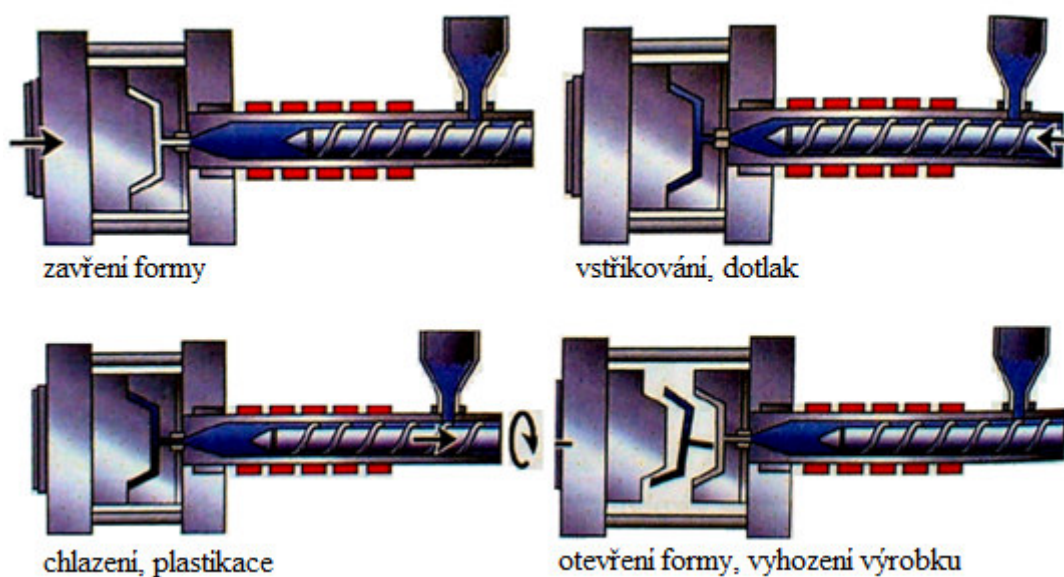
1 - uzavírací jednotka. 2 - pohyblivá upínací deska vstřikolisu, 3 - pohyblivá část vstřikovacího formy, 4 - vodící sloupky vstřikolisu, 5 - pevná upínací deska vstřikolisu, 6 - čelo špičky vstřikovací trysky vstřikolisu, 7 - tavící komora, 8 - šnek, 9 - násypka pro plastový polotovar, 10 - pohonná jednotka šneku [13]

Diplomová práce se zabývá zkracováním doby chlazení výstřiku, proto bude v dalším textu uveden princip vstřikování a popis fáze chlazení.

#### 4.1. Princip vstřikování

Plast v podobě granulí se nasype do násypky, z níž je odebírán otáčejícím se šnekem, který jej dopravuje do tavicí komory vyhřívané elektrickými odporovými pásy. Zde plast taje a jako tavenina je šnekem vstříknuta do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme přesně její tvar. Forma je kovová a je chlazená temperačním systémem, který tvoří zpravidla olej nebo voda. Tavenina předává do formy teplo a ochlazením ztuhne. Potom se forma otevře a výrobek se z formy vyjme anebo je vyhozen. Nato se forma opět uzavře a celý cyklus se opakuje. [12]

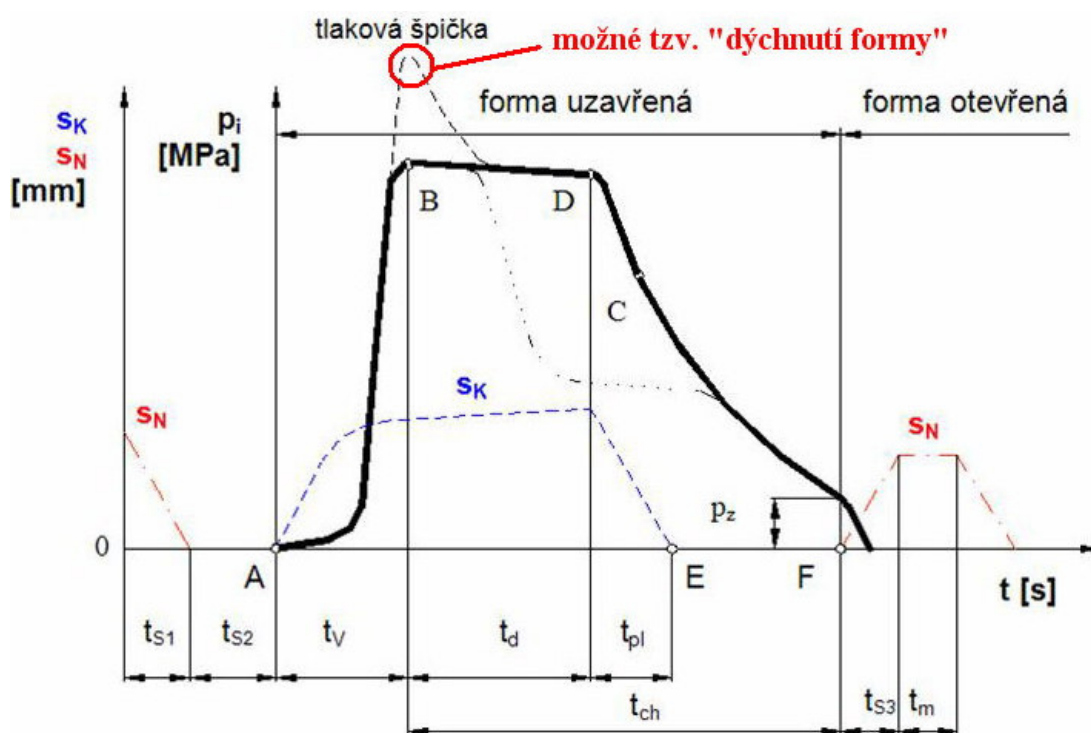
Pro zhotovení výstřiku je nutno zajistit sled přesně za sebou jdoucích operací, které tvoří vstřikovací cyklus. Jeho počátek musí být jednoznačně definován. Bývá to okamžik odpovídající impulzu k zavření formy. Činnost stroje během vstřikovacího cyklu je schematicky znázorněna na obr. 4.2. [12]



Obr. 4.2: Schéma činnosti vstřikovacího stroje [14]

Vstřikovací cyklus je však možno posuzovat i z hlediska zpracovaného plastu a vyjádřit jej průběhem tlaku v dutině formy. Tento údaj se někdy nazývá vnitřní tlak a značí se  $p_i$  na rozdíl od vnějšího tlaku, čímž se myslí tlak vztažený na jednotku plochy průřezu šneku. Závislost tlaku  $p_i$  na době se označuje jako tlakový cyklus. Je znázorněn na obr. 4.3. Časová návaznost jednotlivých operací je zřejmá z obr. 4.4. [12]

Předpokládejme, že dutina formy je prázdná a forma je otevřená. V čase  $t = 0$  stroj dostane impuls k zahájení vstřikovacího cyklu. V časovém úseku  $t_{s1}$  se forma přisune, uzavře a uzamkne. Tyto funkce je nutné odlišit, protože na přisouvání formy se vynakládá poměrně malá síla  $F_p$ , zatímco uzamknutí je nutno vynaložit značně vyšší uzavírací sílu  $F_u$ , neboť se musí zabránit i sebepatrnějšímu pootevření formy vlivem síly jako důsledek tlaku taveniny v dutině formy. V časovém úseku  $t_{s2}$  se tavící komora přisune k formě. Úseky  $t_{s1}$  a  $t_{s2}$  představují tzv. strojní časy, jak uvádí Krebs v literatuře [12].



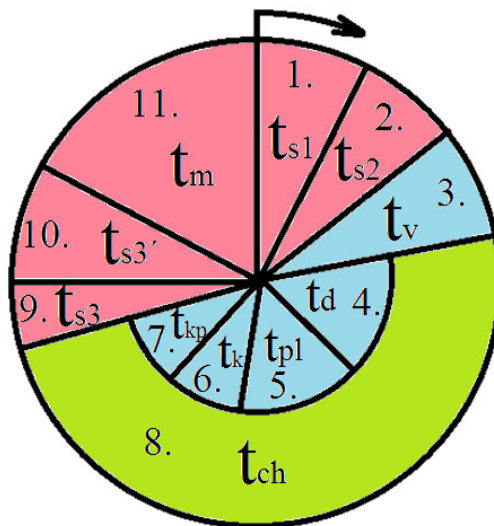
Obr. 4.3: Průběh tlaků v dutině formy  $p_i$  během vstřikovacího cyklu [12]

V okamžiku A se dává do pohybu šnek v tavící komoře a začíná vlastní vstřikování roztavené hmoty do formy. V této fázi šnek vykonává pouze axiální pohyb, neotáčí se a působí jako píst. S nepatrným časovým zpožděním začne reagovat tlakové čidlo umístěné v dutině formy a zaznamenává rychlý vzrůst tlaku taveniny proudící do formy. Doba, během níž probíhá plnění dutiny formy se nazývá doba plnění a značí se  $t_v$ . Plnění je ukončeno v bodě B. Jakmile hmota vstoupí do dutiny formy, předá jí teplo a chladne. To trvá až do otevření formy a vyjmutí výstřiku a tato doba se nazývá doba chlazení,  $t_{ch}$ . V praxi se dělí na dobu chlazení při plném vstřikovacím tlaku a při klesajícím tlaku. První část představuje dobu

dotlaku,  $t_d$ . Během chladnutí se totiž hmota smršťuje a zmenšuje svůj objem a aby na výstřiku nevznikly staženiny, je nutno zmenšení objemu kompenzovat dotlačením malého objemu taveniny do dutiny. Dotlak může být po celou dobu  $t_d$  stejně vysoký jako maximální tlak  $p_i$  anebo se může po několika sekundách snížit, takže další chladnutí probíhá při sníženém tlaku. Doba dotlaku končí v bodě D, kdy začíná doba plastikace nové dávky plastu,  $t_{pl}$ . Šnek se začne otáčet, nabírá pod násypkou granulovanou hmotu, plastikuje ji a vtlačuje do prostoru před čelem šneku. Současně ustupuje dozadu. Kvalita prohnětení hmoty se řídí zpětným odporem šneku, tj. tlakem hydraulické kapaliny, který musí šnek překonávat při pohybu dozadu. Z hlediska vlastností výstřiku je důležitý bod C označující okamžik zatuhnutí hmoty ve vtokovém kanálu. Vtokový kanál spojuje dutinu formy s dutinou tavicí komory a dokud je hmota v kanálu jako tavenina, může šnek ovlivňovat tlakové poměry v dutině formy. Zatuhnutím hmoty se však spojení mezi tavicí komorou přeruší a další prodlužování dotlaku je již bezúčelné. Doba dotlaku tedy končí nejpozději v bodě C. (pak body D a C splynou) anebo může skončit ještě před zatuhnutím vtoku, jako na obr. 4.3. To má však za následek rychlejší pokles tlaku ve formě. Plastikace je skončena v bodě E, kdy se otáčivý pohyb šneku zastaví a následuje odsunutí tavicí komory od formy ( $t_k$ ). To je proto, že tavicí komora je vytápěna a hmotu je v ní nutno udržet v roztaveném stavu, zatímco forma je naopak chlazená a stykem s formou by se ochlazovala tryska tavicí komory. Tedy je třeba zabránit přenosu tepla z trysky do formy. Během pokračujícího chlazení tlak ve formě dále klesá až na hodnotu zbytkového tlaku  $p_z$ , což je tlak, pod nímž se hmota, pochopitelně již ztuhlá, nachází ve formě těsně před jejím otevřením. Nedostatečný zbytkový tlak je příčinou propadlin a deformací výstřiku, vysoký tlak naopak způsobuje vysoká vnitřní pnutí ve výstřicích. Zbytkový tlak lze snížit buď zkrácením doby dotlaku a nebo moderněji programovaným průběhem tlaku  $p_i$  během dotlaku, jak je znázorněno tečkovanou čarou na obr. 4.3. Po dokonalém výstřiku se forma otevře (bod F, doba  $t_{s3}$ ) a výstřik se z formy vyhodí vyhazovacími kolíky. Na tuto operaci je třeba další strojní čas  $t_{s3}$ . Před zahájením dalšího cyklu může ještě následovat čas pro obsluhu formy, zvaný manipulační čas  $t_m$ , během něhož se např. do formy vkládají kovové zálisky. Na obr. 4.3 je pohyb formy označen  $S_N$ , pohyb šneku  $S_K$ , jak uvádí Krebs v literatuře 12.



Diplomová práce se zabývá snižováním doby chlazení vstřikovaného dílu, proto na ni bude další text zaměřen. Na obrázku 4.4 je schéma vstřikovacího cyklu, kde je pro představu uveden rozsah doby chlazení ( $t_{ch}$ ) ve vstřikovacím cyklu.



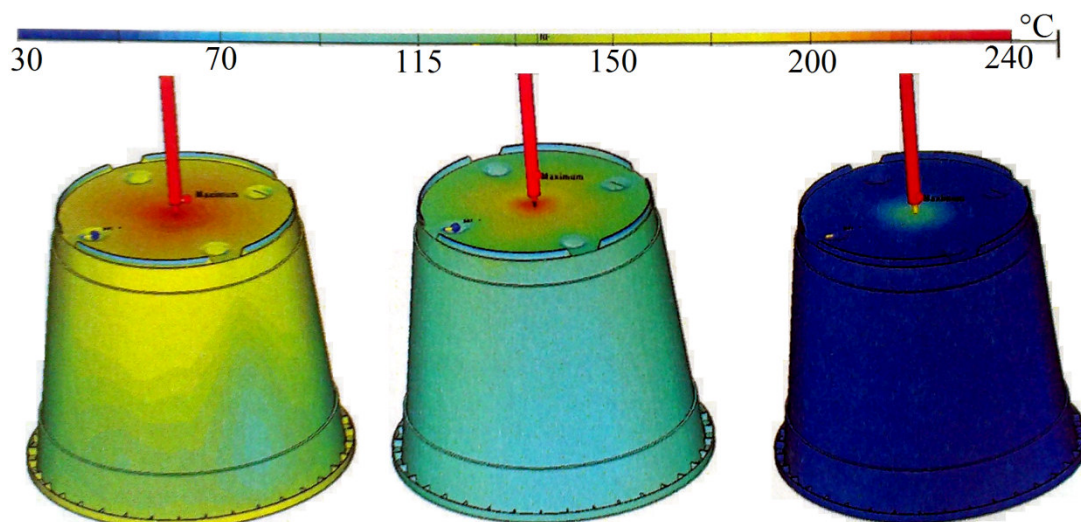
Obr. 4.4.: Schéma vstřikovacího cyklu [12]

#### 4.1.1. Doba chlazení

Doba chlazení  $t_{ch}$  představuje rozhodující část cyklu, pohybuje se od několika sekund do několika minut. Důležitá je rovnoměrnost odvodu tepla z taveniny k zajištění homogenního teplotního pole na výstřiku. To je zajištěno konstrukcí temperačního systému a parametry proudícího média (teplota vody, rychlost proudění). [12]

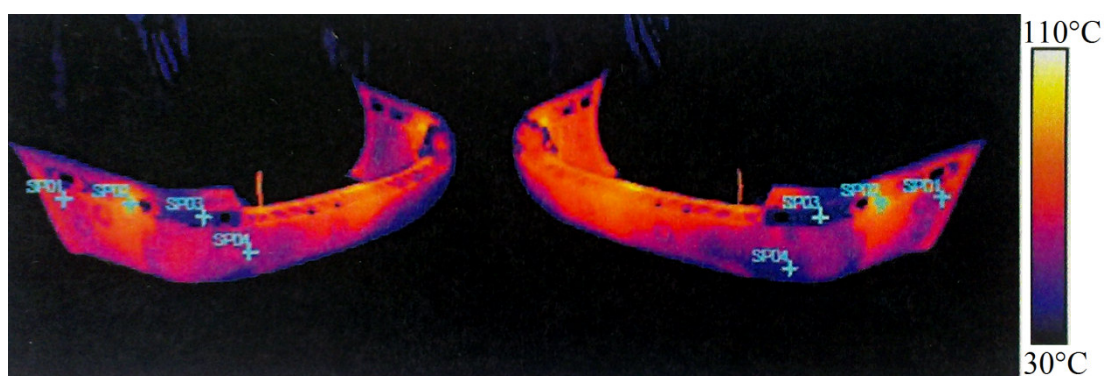
Doba chlazení  $t_{ch}$  je časově nejdelší fází vstřikovacího cyklu, protože plasty jsou špatnými vodiči tepla (jsou to tepelné izolanty) a pohybuje se od několika sekund u tenkostěnných výstřiků do několika málo minut pro výrobky s velkou tloušťkou stěny.

Doba chlazení závisí na určující (maximální) tloušťce stěny výstřiku  $s_{max}$ , na druhu plastu (vliv rozdílných součinitelů tepelné a teplotní vodivosti), teplotě taveniny  $T_{tav}$ , teplotě formy  $T_f$  (obr. 4.7) a teplotě výstřiku v okamžiku vyjímání z formy. [14]



Obr. 4.5: Průběh snižování teploty výrobku během fáze chlazení [14]

Chlazení výstřiku ve formě začne již během vstřikování, ale zejména souběžně s dotlačováním. Chlazení plastu potom probíhá až do úplného ztuhnutí plastu v dutině vstřikovací formy (obr. 4.5). Po vyhození výrobku ze vstřikovací formy musí být teplota plastového dílu pouze tak vysoká, aby nedošlo k deformaci výrobku. Teplota je však stále ještě vyšší, než je teplota okolí (obr. 4.6). Ke zchladnutí výrobku na teplotu okolí již dochází mimo vlastní dutinu vstřikovací formy. [14]

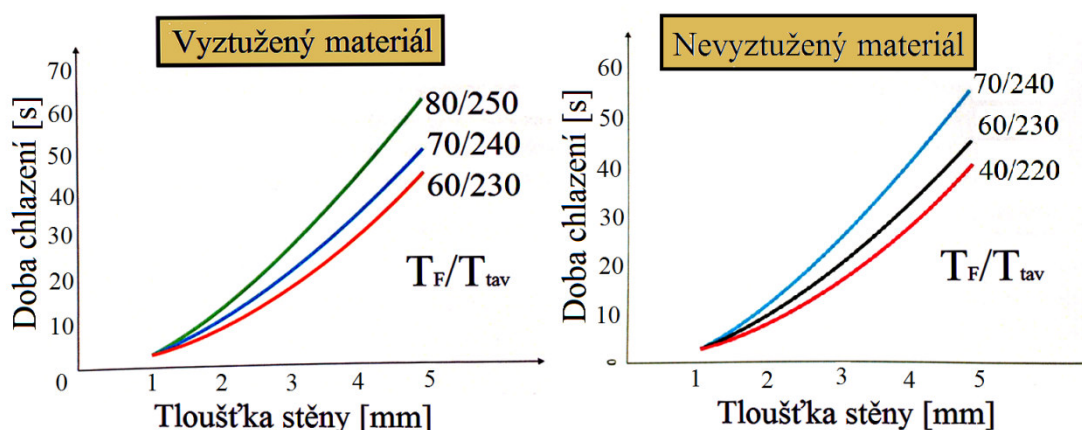


Obr. 4.6 : Termovizní snímek teplot na povrchu plastového dílu po vyhození výrobku ze vstřikovací formy [14]

Z ekonomického hlediska je snaha zkrátit dobu chlazení na minimum účinným chlazením formy, zejména těch míst, v nichž hmota chladne nejpomaleji. Vhodným postupem je možné uspořit až 40% celkových nákladů. To však může mít negativní důsledky jak z hlediska technologického procesu (velká tloušťka



zamrzlé vrstvy s krátkou dráhou tečení, tak i hlediska konečných a užitných vlastností výrobku (krystalizace, lesk, hmotnost, atd.), protože fáze chladnutí ovlivňuje nejenom nadmolekulární strukturu plastu (morfologie), ale i velikost smršťení, deformace výrobku, orientaci, pnutí, ale také kvalitu povrchu, zejména lesk. [14]



Obr. 4.7 : Doba chlazení v závislosti na tloušťce stěny pro vyztužený plast [14]

#### 4.2. Vady způsobené technologickými parametry

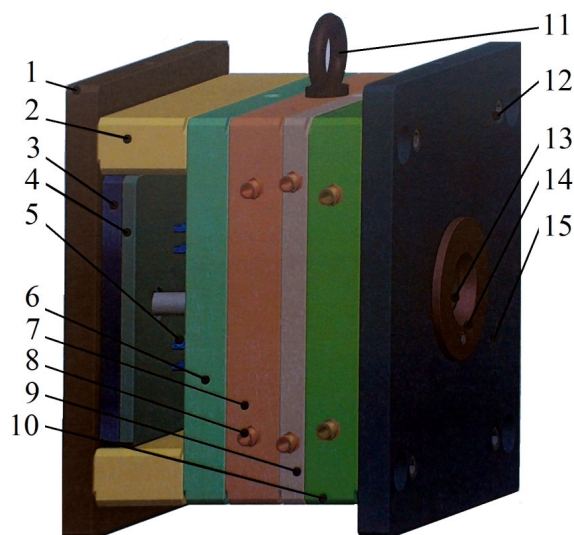
Nesprávně nastavené technologické parametry mohou způsobit prakticky většinu známých vad (vady povrchu, tvaru i skryté vady). Výhodou u takto způsobených vad je, že je lze odstranit změnou jednoho či více technologických parametrů. Pokud je to možné, volíme přednostně změnu parametrů s okamžitou reakcí na následný vstřikovací cyklus (tlaky, časy, bod přepnutí, otáčky šneku), a pokud tyto změny nevedou k odstranění vady, měníme teploty (teploty jednotlivých pásem, resp. teplotu taveniny a teplotu formy). Změna teploty však vyžaduje více vstřikovacích cyklů k ustálení procesu. [15]

### 5. Konstrukce vstřikovacích forem

Vstřikovací forma (obr. 5.1) je komplexní systém, který musí splnit současně mnoho požadavků vycházejících z procesu zpracování plastů. Její funkcí je dát tavenině konečný tvar výstřiku a v tomto tvaru jí převést do stavu, kdy je schopna si podržet získaný tvar. V případě termoplastů se tak děje

ochlazením. Reaktoplasty se při vyšší teplotě vytvrdí a kaučuky vulkanizují. Následně lze výrobek vyjmout z formy.

Vstřikovací formy jsou často komplikovaná technická zařízení, která musí odolávat vysokým tlakům, musí poskytovat výstřiky o přesných rozměrech, musí umožnit snadné vyjmutí výstřiků a přitom musí většinou pracovat automaticky. Jejich konstrukce a výroba je proto náročná na odborné znalosti i na finanční náklady. [16]



Obr. 5.1: Uzavřená dvou desková vstřikovací forma.

1 - upínací deska pohyblivé části vstřikovací formy, 2 - rozpěra, 3 - hlavní vyhazovací deska, 4 - přidržovací vyhazovací deska, 5 - vyhazovač, 6 - podpěrná deska, 7 - "B" deska, 8 - přípojka chlazení, 9 - "C" deska, 10 - "A" deska, 11 - manipulační oko, 12 - hlavní montážní šrouby, 13 - vtoková vložka, 14 - středící kroužek pevné části vstřikovací formy, 15 - upínací deska pevné části vstřikovací formy [13]

### 5.1. Temperační systém

Vzhledem k tomu, že se diplomová práce zabývá zkracováním doby chlazení vstřikovaného dílu, bude zde uveden popis temperačního systému. Účelem temperace je udržet konstantní teplotní režim formy během cyklického procesu, je úkolem temperace zajistit rovnoměrnou teplotu formy na optimální výši po celém povrchu dutiny a odvést teplo z dutiny formy naplněné taveninou tak, aby celý pracovní cyklus měl ekonomickou délku. Cílem je dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování při dodržení všech technologických požadavků

na výrobu a požadavků na kvalitu. Toho se dosahuje ochlazováním, případně vyhříváním celé formy nebo její části.

Během vstřikování se do formy přivádí roztavený plast, který v její dutině chladne až na teplotu vhodnou pro vyjmutí výstřiku. Teplota ovlivňuje zaplnění formy a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu.

Dobře řešený temperační systém spolu s dostatečnou hmotností formy zajistí dobrou tepelnou stabilitu a malé nebezpečí deformace formy při vysokých vstřikovacích tlacích.

Odlišnou teplotou jednotlivých částí formy se zvyšují rozměrové a zejména tvarové úchyly výstřiku. V některých případech se však záměrně temperují různé části formy odlišně, čímž se eliminuje tvarová deformace způsobená anizotropií smrštění plastu. Provozní teploty formy a zpracovatelské teploty taveniny některých plastů jsou uvedeny v tabulce 5.1. [17]

Tab. 5.1.: Teploty formy a taveniny během procesu vstřikování [17]

Termoplast	Teplota taveniny [°C]	Teplota formy [°C]
ABS	190 ÷ 250	50 ÷ 85
PA 6	230 ÷ 290	40 ÷ 120
PC	280 ÷ 320	85 ÷ 120
HDPE	180 ÷ 270	20 ÷ 60
LDPE	180 ÷ 270	20 ÷ 60
PMMA	200 ÷ 250	50 ÷ 80
POM	180 ÷ 220	50 ÷ 120
PP	170 ÷ 280	20 ÷ 100
PS	180 ÷ 260	55 ÷ 80
PVC tvrdé	190 ÷ 220	30 ÷ 60
SAN	200 ÷ 260	50 ÷ 85
PSU	340 ÷ 400	120 ÷ 160
PEEK	380 ÷ 430	160 ÷ 220
LCP	310 ÷ 360	65 ÷ 95

#### 5.1.1. Charakteristika temperačního systému

Regulováním parametrů temperačního systému na požadovanou teplotu formy záleží na celkové tepelné bilanci formy a okolním prostředí. Největší část tepla odvádí z formy právě temperační systém. Zbytek tepla se odvádí upínacími plochami stroje, okolním vzduchem a vyzářením do okolí (3 ÷ 5 %).

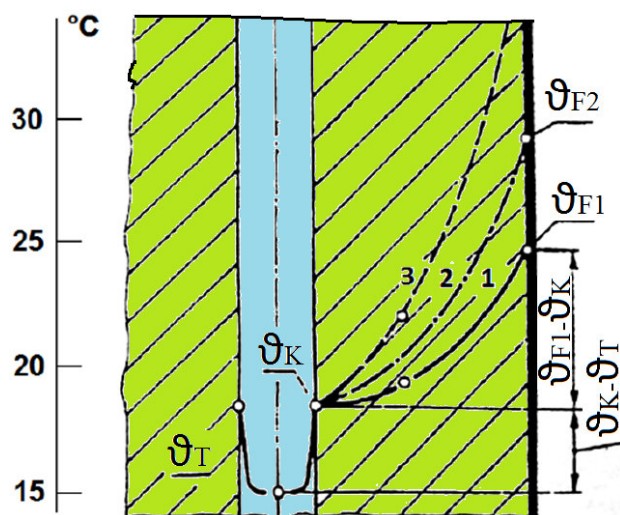
Temperační systém je soustavou kanálů a dutin jimiž proudí vhodná kapalina, která udržuje teplotu jednotlivých částí formy na požadované hodnotě. Temperační systém může být umístěn buď v pevné nebo v pohyblivé části formy. Každý z okruhů je možné řešit samostatně podle způsobu zaformování výstřiků a ostatních technologických podmínek.

Aby na jednotlivých částech formy nebyl příliš velký rozdíl teplot, je třeba správně zvolit tvar, velikost a rozmístění temperačních kanálů, ale také rychlost a teplotu temperačního média.

Množství tepla, které projde stěnou formy do/z temperačního kanálu je závislé zejména na tepelné vodivosti  $\lambda$  materiálu formy, tloušťce stěny a rozdílu teplot mezi temperačním kanálem a taveninou. Průběh teploty v kanálu a ve stěně je znázorněn na obrázku 5.3. Největší vliv na odvedení tepla z formy má tepelná vodivost materiálu formy. Proto se pro tvarové části formy využívají vložky ze slitin Cu, CuBe, které mají mnohem vyšší tepelnou vodivost  $\lambda$  než běžně používané oceli. Příklady materiálů s jejich tepelnou vodivostí jsou uvedeny v tabulce 5.2. [17]

Tab. 5.2.: Součinitelé tepelné vodivosti materiálů [17]

Materiál	Stříbro	Hliník	Měď	CuBe <sub>2</sub>	Ocel	Plasty	Voda	Vzduch
$\lambda$ [W/mK]	410	204	395	113	44	0,2÷1,2	0,19	0,04



Obr. 5.3.: Průběh teplot v kanále s médiem a ve stěně formy

$\vartheta_K$  - teplota stěny kanálu,  $\vartheta_T$  - teplota chladiva,  $\vartheta_{F1,F2,F3}$  - teplota stěny dutiny

1 - beryliový bronz, 2 - konstrukční ocel, 3 - chromová ocel [17]

## 5.2. Vady způsobené konstrukcí formy

Nesprávná konstrukce formy je příčinou velkého počtu vad, které bohužel ve většině případů nelze odstranit například změnou technologických parametrů. Jako příklady lze uvést nedostatečnou tuhost formy, což může být způsobeno konstrukční chybou, poddimenzováním částí formy, chybným výběrem materiálu formy, volbou tepelného zpracování, a nesprávně zvoleně zvolený tvar a umístění vtokové soustavy, zejména vtokového ústí. Zde je nutno obvykle volit kompromis mezi reologickými požadavky na taveninu polymeru (nízké smykové namáhání a minimální nárůst teploty po průchodu vtokem, nízké tlakové ztráty před a za ústním vtokem) a výrobními požadavky (zkrácení doby výrobního cyklu, automatické oddělování vtokem, nepřerušovaný chod stroje, možnost korekce rozměrů působením dotlakové fáze apod.). Dalším zdrojem vad bývá nedostatečné odvzdušnění tvarové dutiny formy, poddimenzovaný a nesprávně zvolený vyhazovací systém a nevhodný či poddimenzovaný temperační systém, jenž může vyvolat strukturní anomálie, pnutí a anizotropii rozměrů i vlastností. [15]

## 6. Konstrukce vstřikovaného dílu

Konstrukce (tvar) vstřikovaného dílu musí odpovídat vlastnostem a chování zpracovatelského polymeru. Při návrhu plastového výrobku je nutno se vyvarovat velkých změn tloušťek stěny, lokálnímu hromadění materiálu a velkých rovných ploch. Tolerance rozměrů musí odpovídat vstřikovanému plastu, je nutné volit správnou geometrii otvorů a výřezů, dostatečné úkosy s ohledem na leštěný či strukturovaný povrch, dostatečné radiusy při konstrukci rohů a hran (rovněž při napojení žeber na základnu), vyloučit či minimalizovat podkosové úhly a tvary.

Zásady, jak se vyvarovat vadám při návrhu plastového výrobku, jsou následující:

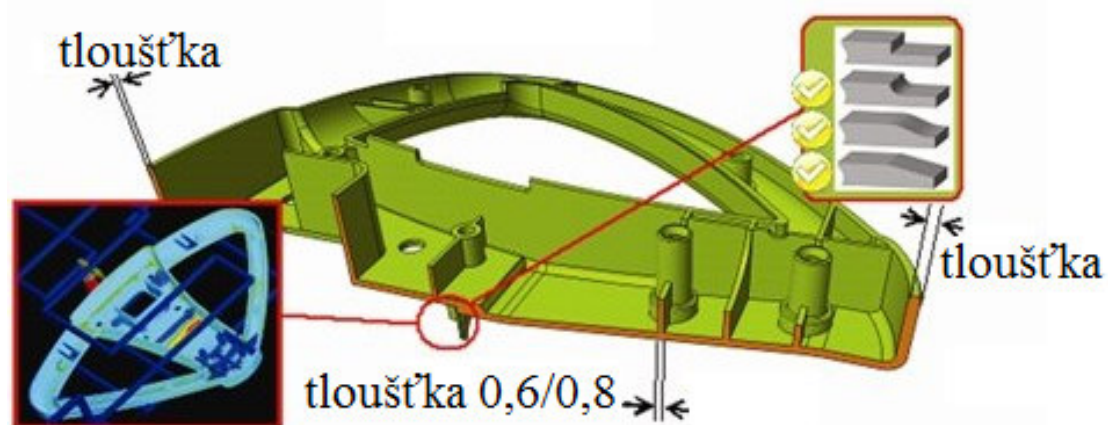
1. Volit co nejmenší tloušťku stěny s ohledem na tokové vlastnosti materiálu.
2. Udržet maximálně rovnoměrnou tloušťku stěny.
3. Při změně tloušťky stěny nevolit velké skoky nebo vytvořit přechod.
4. Volit úkosy k snadnému vyjímání výstřiku s ohledem na plnění dutiny formy.
5. Výška žebra by neměla přesáhnout trojnásobku tloušťky stěny.
6. Umístění vtokem v největší tloušťce výstřiku.

7. Vyloučit podkosové úhly
8. Vyhnout se akumulaci materiálu
9. Rohy a hrany opatřit rádiusy.
10. Poměr délky a průměru otvoru by neměl překročit 3:1
11. Tolerance nevolit menší, než je nutné. [15] [13]

V dalším textu budou uvedeny konstrukční prvky, které souvisejí s experimentem. Jedná se o konstrukci tloušťky stěny, žeber a výstupků.

### 6.1. Tloušťka stěny

Konstrukteři se snaží o stejnou tloušťku stěn na celém modelu (obr. 6.1). Jakákoliv větší nerovnoměrnost může způsobit problémy typu vnitřních vzduchových kapes, propady povrchu, nepředvídatelná smrštění a v neposlední řadě prodloužení celého cyklu. Je-li změna tloušťky nezbytná, měla by být plynulá, aby umožňovala hladký průtok materiálu bez vytváření míst s vnitřním pnutím, která mohou způsobit vadu na dílu, a to buď během testování, což si vynutí nový návrh dílu, nebo pak přímo při vstřikování plastu, což vyvolá další náklady na úpravu formy. [18]



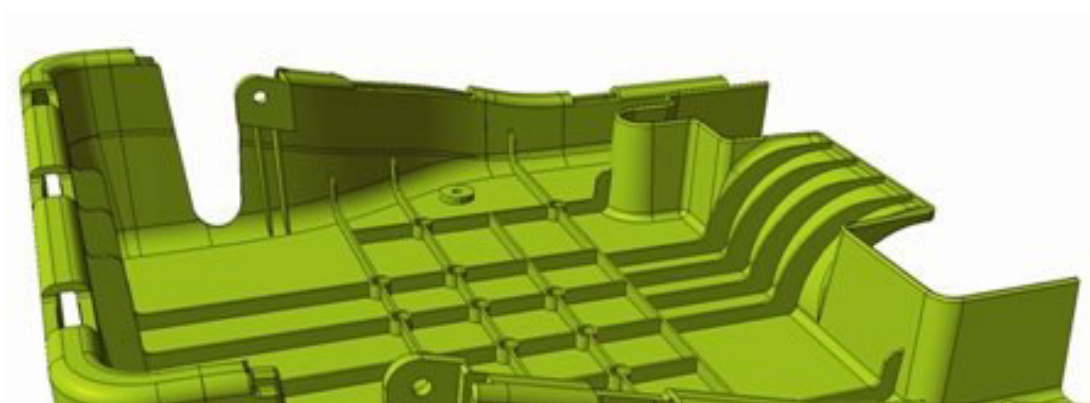
Obr. 6.1: Příklady vhodných změn tloušťek [18]

## 6.2. Konstrukce žeber

Žebra představují možnost, jak dosáhnout vyšší pevnosti a tuhosti vstřikovaného dílu bez nutnosti celkového zvýšení tloušťky stěn. Dalším použitím žeber může být například pozicování dílů při montáži, zajištění lícování dílů, dorazy či vedení pomocných mechanismů.

Správný návrh žebra je definován následujícími parametry - tloušťka stěny žebra, výška žebra, umístění, počet žeber a další. Dále zde jsou uvedeny některé zásady, které by konstruktéři vstřikovaných dílů měli znát.

- extrémně tlustá žebra by měla být odstraněna;
- maximální výška žeber by neměla být větší než trojnásobek tloušťky stěny.
- minimální vzdálenost mezi žebry by měla být dvojnásobkem nominální tloušťky stěny;
- poloměr zaoblení hran žeber by neměl být větší než 50% tloušťky stěny;
- jako nejvhodnější se jeví křížení žeber (obr. 6.2), protože zajišťuje největší tuhost konstrukce dílu. [13] [18]



Obr. 6.2: Konstrukce žeber u tvarově složitého výstřiku [18]

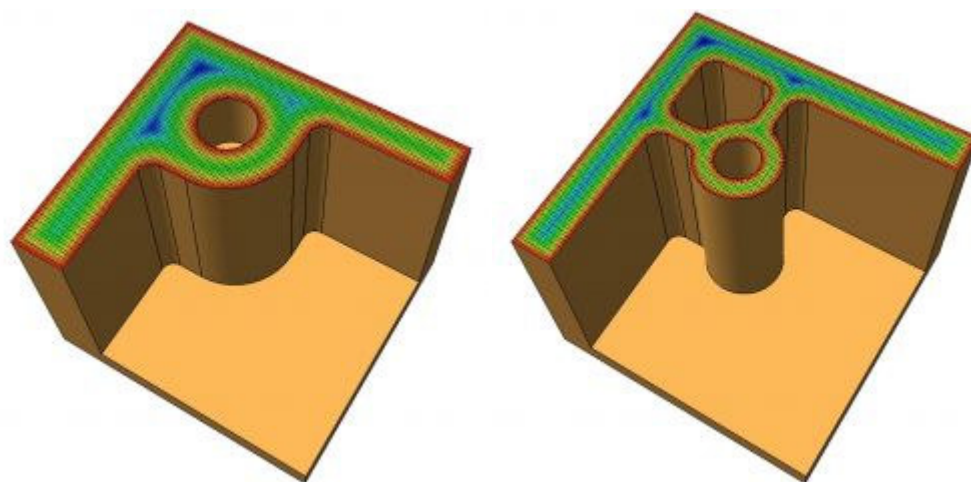
## 6.3. Konstrukce výstupků

Výstupky nacházejí uplatnění v mnoha konstrukcích jako bod pro připojení a montáž. Obvykle se jedná o válcové tvary s vnitřním otvorem navrženým tak, aby do něj bylo možné zašroubovat příslušný spojovací prvek - šroub, závitovou vložku apod.



Podobně jako u žeber, tak i u konstrukce výstupků, je třeba zvažovat tloušťku jejich stěn. Při špatném návrhu konstrukce se mohou objevit propadliny nebo staženiny. Některé zásady, které zajišťují kvalitní výstupek bez vad, jsou:

- tloušťka výstupku by měla být 60% tloušťky stěny, na které je výstupek navržen;
- výška úchyty by neměla být větší, než je 2,5 násobek průměru díry výstupku;
- výstupky musí být opatřeny úkosy;
- při napojení výstupku s boční stěnou by se měla využít žebra (obr. 6.3) a tím zamezit hromadění materiálu.



Obr. 6.3: Špatné navržení výstupku, kde dochází k hromadění materiálu, (vlevo) a správně navržení výstupku s propojením boční stěny s žebry (vpravo) [19]

## 7. Vady u vstřikovaných dílů

Pod pojmem vada výstřiku se rozumí defekt, kterým se liší vzhled, rozměry, tvar a vlastnosti od předem stanoveného normálu (standardu), specifikovaného výkresem, referenčním vzorkem nebo schválenými přejímacími podmínkami. Zdroj vad může být jak ve zpracovatelském plastu, tak i ve špatné konstrukci výrobku (plastového dílu), ve špatně zvoleném vstřikovacím stroji, v nevhodné konstrukci formy a také ve zvolených technologických parametrech. Vady výstřiků dělíme na vady zjevné a vady skryté. [15]

Vady zjevné jsou takové vady, které lze zjistit při vizuálním porovnání s referenčním vzorkem. Dělí se na dvě hlavní skupiny: vady tvaru a vady povrchu. Vady skryté jsou vady, které nelze identifikovat běžnou vizuální kontrolou, a proto jsou z aplikačního hlediska nebezpečnější než vady zjevné.



Vzniklé vady se primárně odstraňují změnou technologických parametrů, protože jde o nejjednodušší a nejméně nákladný způsob eliminace. V případě, že závadu nelze takto odstranit, je nutno identifikovat příčinu (v konstrukci výstřiku, ve vstřikovací formě, ve vstřikovací stroji nebo ve zpracovatelském plasty) a provést nápravu návrhem změny. [15]

Vzhledem k rozsahu diplomové práce budou v dalším textu uvedeny vady související s experimentem.

### 7.1. Staženiny a propadliny

Vznikají především u silnostěnných výrobků, kde vlivem smrštění dojde k oddělení tekutého jádra a tím k vytvoření dutého prostoru ve výrobku (staženina, jinak označovaná jako lunkr) nebo na povrchu výrobku (propadlina). Propadlina (obr. 7.1) je vada zjevná, protože se nachází na povrchu výstřiku, a lze ji vizuálně identifikovat. Staženina (obr. 7.1) je vada skrytá a nalézt ji je možné například pomocí rentgenu nebo destruktivní metodou řezu. V přiložené tabulce 7.1 jsou uvedeny některé zdroje vad, příčiny vzniku vad a možnosti jejich odstranění. [20]

Tab. 7.1: Zdroj, příčina a odstranění staženiny a propadliny ve výrobku [20]

Zdroj vady	Příčina	Odstranění
Materiál	Nízká tekutost taveniny	použít polymer s vyšší tekutostí
		ověřit zbytkovou vlhkost po vysušení
		u tlustostěnných dílů přidat nadouvadlo
Technologie	nízký dotlak a doba dotlaku	zvýšit velikost dotlaku, doby dotlaku, dobu chlazení a teplotu taveniny
	nízká doba chlazení	
	nízká teplota taveniny	
Vstřikovací stroj	tavenina zatéká na trysce	ověřit souosost trysky a vt. vložky
	tavenina ztuhne v trysce	kontrola topení v trysce
Forma	nepravidelné rozložení teploty v tvarové dutině	kontrola temperačního systému, kontrola odvětrání
	dlouhá tokové dráhy	změna vt. soustavy, využít horké vtoky
Výstřik	Tvar výstřiku neodpovídá technologickým požadavkům (malá tloušťka, členitost)	odstranit velkou nerovnoměrnost v tloušťce stěn, vyvarovat se příliš tenkým stěnám nebo velké tloušťce stěn

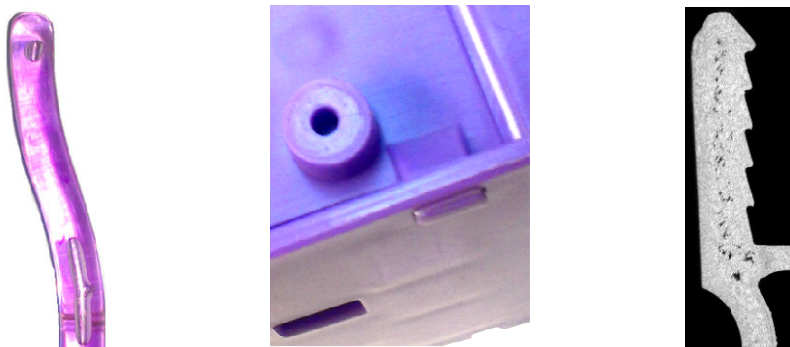
## 7.2. Vzduchové bubliny

Na výrobku, příp. uvnitř výrobku, jsou viditelné duté prostory, které vznikly nasáváním vzduchu nebo tvorbou plynu. Na rozdíl od lunkrů (staženin) se zde jedná o uzavření plynu, který se může projevit také i v blízkosti stěny.

Při pozorování dutin se musí dělat rozdíl mezi uzavřeným vzduchem a lunkry. Lunkr (staženina) je bezvzduchový (vakuový) dutý prostor, který vznikl omezeným smrštěním hmoty. Vizuální rozdíl je vzhledem k podobným projevům velmi těžce určitelný. Při podezření na uzavřený vzduch je třeba neprůhledné díly namátkově rozřezat.

Příčina vzniku spočívá s v tom, že během zpracování tavenina uzavírá vzduch, který je na výstřiku patrný dutý prostor - vzduchová bublina (obr. 7.1). Za tuto vadu odpovídají různé příčiny: příliš velká resp. příliš rychlá dekomprese, malý plastikační výkon, materiál s nízkým indexem toku taveniny, vysoká zbytková vlhkost v granulátu.

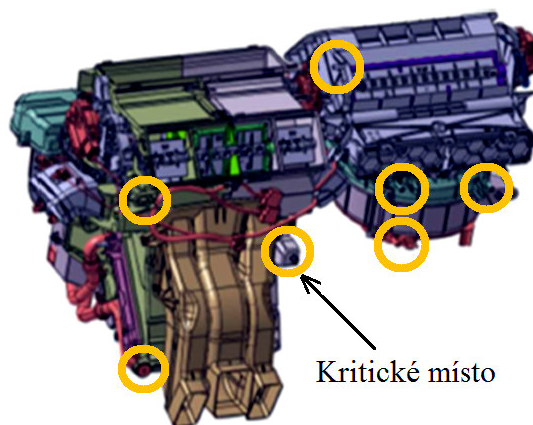
Možnosti řešení a odstranění této vady jsou následující: zpomalit nebo zmenšit dekompresi (zpětný pohyb šneku), přezkoušet přívod granulátu (pokud se vyskytnete závada během výroby), zvýšit zpětný tlak a přizpůsobit otáčky, zmenšit dávkování, zvýšit účinnost sušení, zvětšit průřezy vtokového systému, zkontrolovat konstrukci výrobku, přezkoušet plastikační jednotku. [20]



Obr. 7.1: Vzduchové bubliny (vlevo), propadliny (uprostřed) a staženiny (vpravo)

## 8. Experimentální část

Diplomová práce, vypracovávaná v DMCZ, je zaměřena na klimatizační jednotku, která, jak již bylo uvedeno na začátku diplomové práce (kapitola 2.), je srdcem klimatizačního systému. Výstřiky, které tvoří soustavu skříň klimatizační jednotky, musí splňovat všechny požadavky zákazníka. Jeden z požadavků je namontování klimatizační jednotky v automobilu přes tzv. RPS body (obr. 8.1). Ty mohou plnit dvě funkce. Jednak určují pozice, kde se klimatizační jednotka montuje do prostoru pod kapotou automobilu, a zároveň to jsou body, které jsou počátkem souřadného systému určujícího polohu a orientaci v prostoru pro klimatizační jednotku. Rozmístění RPS bodů je dáno volným prostorem pod kapotou automobilu v závislosti na vnitřní konstrukci vozidla, kde je klimatizační jednotka upevněna šroubovým spojem.



Obr. 8.1: Ukázka rozmístění několika RPS bodů klimatizační jednotky a umístění kritického místa řešeného diplomovou prací

Na začátku diplomové práce (kapitola 2.) byla zmíněna skříň výměníku. Ta je tvořena ze tří částí - levá strana, pravá strana a střední deska. Tyto tři části jsou výrobky jedné formy v jednom vstřikovacím cyklu, tzv. family set (obr. 8.2.) . Tento vstřikovací cyklus je nastaven tak, aby všechny tři výstřiky byly vyhozeny z formy s požadovanou jakostí.

V rámci výroby je snaha dobu vstřikovacího cyklu snižovat. Z hlediska jednotlivých částí vstřikovacího cyklu je nejdelší doba chlazení (kapitola 4.1.1). Proto se při snaze zkrátit dobu cyklu zaměřuje diplomová práce právě na ni. V důsledku snižování doby chlazení však byla objevena vada v RPS bodě.

S menší dobou chlazení se otvor pro šroub zkracoval, čímž se montáž do automobilu zkomplikovala.

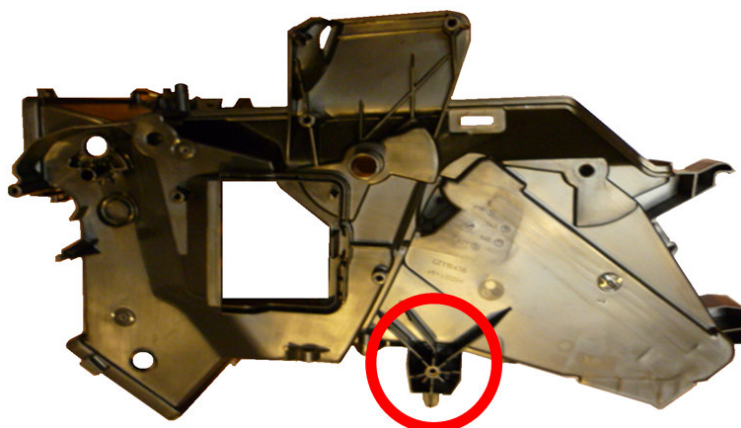
Cílem diplomové práce je tuto vadu zanalyzovat a navrhnout vhodné řešení pro zkrácení doby chlazení bez vzniku této vady.



Obr. 8.2: Family set - sada výstřiků vyrobené na jeden vstřikovací cyklus - levá strana, střední deska a pravá strana

### 8.1. Specifikace a popis výstříku

Jak již bylo zmíněno, tak během jednoho vstřikovacího cyklu jsou vyhozeny z formy tři výstříky - levá strana, pravá strana a střední deska. Po složení tyto výstříky tvoří kompaktní sestavu skříně výměníku. Výstřík, který prodlužuje dobu chlazení celé sady, je pravá strana. Obsahuje už zmiňovaný RPS bod. Tento bod lze označit za kritické místo celé sady výstřiků. Při porovnání RPS bodů na obrázku 8.3. je patrná vyšší složitost kritického RPS bodu než u ostatních, což vede k vyšší náchylnosti k vadě.



Obr. 8.3: Pravá strana skříně výměníku s označenými s červeně označeným RPS bodem označuje kritické místo.

## 8.2. Detail kritického místa

Při bližším zobrazení RPS bodu je vidět, že se jedná o výstupek s otvorem, který je vyztužen šesti žebry. Žebra plní vyztužující funkci a také zajišťují plynulé plnění taveniny v dutině formy.

Otvor je po vstřikovacím cyklu kontrolován pomocí přípravku (obr. 8.4.), který má dva kalibrované válečky pro zjištění požadované jakosti otvoru. Pokud zeleně označená strana válečku zapadne a červená strana druhého válečku nezapadne, tak je otvor v pořádku. V ostatních případech se jedná o zmetek.



Obr. 8.4: Detail kritického místa a způsob jeho kontroly

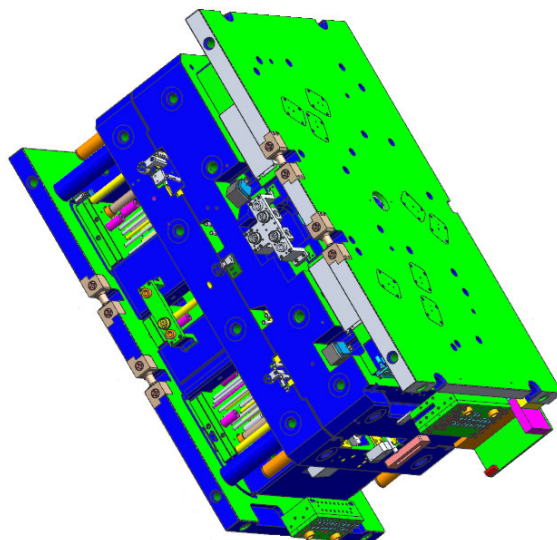
## 9. Vstřikovací forma pro experiment

Klimatizační jednotka je složitý výrobek, ve kterém souběžně pracuje velké množství součástí. Tyto součásti se podílí na vytvoření funkce a dávají klimatizační jednotce tvar. I když je snaha o co nejjednodušší provedení (standardizace, typizace), pořád je design výstřiků vysoce rozmanitý. Složitost výstřiků klade vysoké nároky jak na výrobu, tak i na konstrukci formy.

Vstřikovací forma (obr. 9.1) je dvoudesková, několikanásobná (3 výstřiky) a řešená rozvodnými horkými vtoky. Její největší rozměry jsou 110 x 2475 x 1240 mm. Zajímavostí formy jsou konstrukční části, které přijíždějí k výstřiku ze strany, tzv. slidery. Ty řeší podkosoý na výstřiku. Součástí formy jsou také konstrukční vložky připevněné na formě na pevně. Jedna z těchto vložek tvoří zmiňovaný RPS bod, na který se diplomová práce zaměřuje.

Další obrázky 3D dat vstřikovací formy jsou uvedeny v příloze 1.

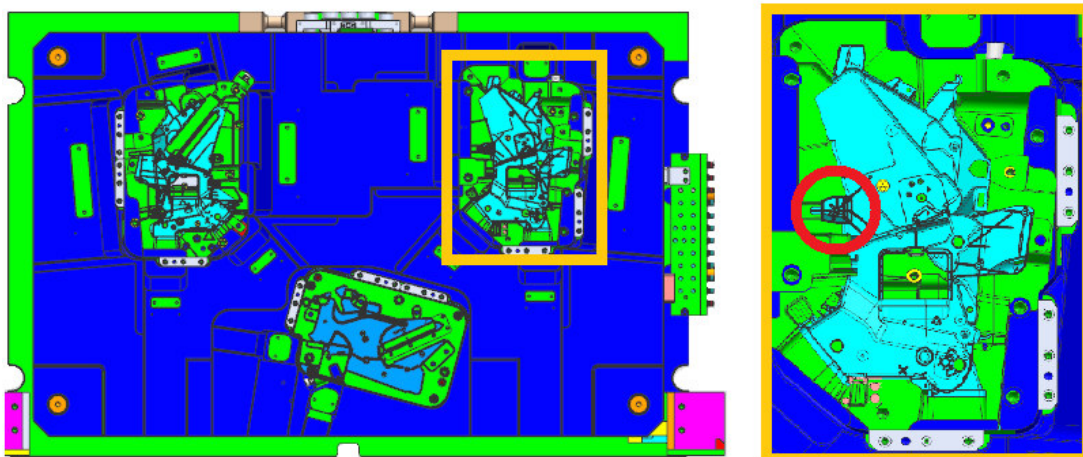




Obr. 9.1: 3D data vstřikovací formy

### 9.1. Pevná strana vstřikovací formy

Součástí pevné strany formy - tvárnice (obr 9.2), je vložka a čep (obr. 9.3), které dohromady tvoří tvarovou dutinu - negativ vystříknutého RPS bodu.



Obr. 9.2: Tvárnice s detailem na dutinu výstříku s červeně zakroužkovanou vložkou a čepem tvořící RPS bod.

Vložka, jejíž konstrukce určuje převážnou část RPS bodu, je z materiálu DIN 1.2738 40CrMnNiMo8-6-4/ 1.2738 HH. Jde o nástrojovou ocel legovanou molybdenem. Tento materiál je přímo určený pro plastikářský průmysl. Pro lepší užité vlastnosti a delší životnost je povrch vložky nitridován.

Čep, který prochází skrz vložku, vytváří otvor RPS bodu a je z materiálu Moldmax V. Vlastnosti tohoto materiálu jsou uvedeny v příloze 2.



Obr. 9.3 : Vložka (vlevo) a čep (vpravo), který tvoří otvor RPS bodu

## 10. Vstupní technologické parametry experimentu

Vstřikovací stroj, na kterém experiment proběhl, je Engel Duo 11050/1300. Bližší informace o stroji jsou uvedeny v příloze 3. Stroj, společně s výše uvedenou formou "family setu" (kapitola 9), se musí nejprve dostat do provozní teploty. Předehřev tavící komory trvá zhruba 45 min. Zde je topení nastaveno od 225°C až do 240°C v celé délce vstřikovací jednotky. Vtokový systém je řešen horkými vtoky, které mají dobu předehřevu zhruba 20 min na teplotu kolem 230°C. Co se týče chlazení, tak v temperačním kanále proudí voda s tlakem 0,9 MPa a teplotou 10°C.

Další parametry, které zde budou uvedeny, jsou vstřikovací rychlost, která je nastavena na 55 mm/s, vstřikovací tlak 148 bar a velikost dotlaku, která je 30 bar s trváním 2,5 s. Doba vstřikovacího cyklu se pro standardizovanou výrobu rovná 31,26 s. Z toho doba chlazení  $t_{ch}$  představuje významnou část - 12 s. Doba chlazení bude jediný parametr, který se bude během analýzy RPS bodu měnit.

Před vstřikováním dílů pro experiment bylo třeba zajistit provozní teplotu vstřikovací formy. Proto prvních deset kusů nebylo započítáno do experimentu. Tímto se vše připravilo na proces vstřikování.

## 11. Experiment s původní konstrukcí formy

Cílem této kapitoly je analyzovat RPS bod při zkrácení doby chlazení. Z naměřených hodnot vyhodnotit co způsobuje zkrácení otvoru v jaké míře se toto

zkrácení vyskytuje. Přesně specifikovat místo tvorby vady a závěrem vyhodnotit příčiny, které s tímto problémem souvisí.

### 11.1. Zkracování doby chlazení

Vstřikování dílů pro experiment proběhlo při době chlazení  $t_{ch1} = 12$  s,  $t_{ch2} = 10$  s a  $t_{ch3} = 8$  s. Po ukončení vstřikovacího cyklu, což je po odebrání výstřiku z formy manipulátorem a umístění na dopravník, se výstřik dopravil k operátorovi zhruba za 65 sekund. V tento okamžik se provedlo měření teploty otvoru bezdotykovým teploměrem FLUKE 63.

Důvod tohoto měření je předpoklad, že plast tvořící otvor RPS bodu, nemá čas na ztuhnutí vlivem nedokonalého odvodu tepla z formy. Tímto se ověří vliv změněných dob chlazení na teplotu kritického místa (Tab. 11.1). Pro optimální přesnost měření bylo vystříknuto 10 vzorků pro každou dobu chlazení. Mezi každou změnou doby chlazení se 10 vystříknutých dílů nezapočítalo do experimentu z důvodu nežádoucího ovlivnění měření pro každou dobu chlazení zvlášť.

Pro lepší představu měření je v příloze 4 obrázkový postup.

Tab. 11.1: Teploty otvoru RPS bodu

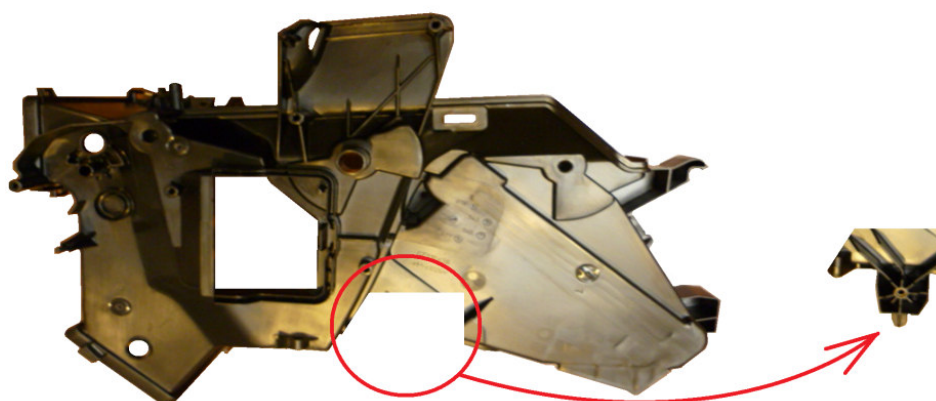
$t_{ch1} = 12$ s		$t_{ch2} = 10$ s		$t_{ch3} = 8$ s	
Vzorek	T [°C]	Vzorek	T [°C]	Vzorek	T [°C]
1	87	1	97	1	105
2	78	2	99	2	107
3	86	3	100	3	107
4	89	4	100	4	105
5	87	5	102	5	105
6	85	6	103	6	107
7	86	7	97	7	106
8	88	8	100	8	107
9	83	9	102	9	104
10	85	10	96	10	105
Průměr	$85 \pm 3$	Průměr	$100 \pm 2$	Průměr	$106 \pm 1$

Další snížení doby chlazení mělo za následek neztuhlý plast na jiném místě výstřiku, nebo i na jiném ze tří vstřikovaných dílů, proto se doba již nezkracovala. Zvýšila by se i možnost ucpání plastem ve složitější části formy, kde se následkem



vyjímacích úhlu tloušťka stěny zužuje. To by mělo za následek znehodnocení dalších vstříkovaných dílů a nutné čištění formy.

Po vystříknutí všech 30 výstřiků je pro další analýzu dostačující pouze RPS bod. Pro jednodušší manipulaci při jednotlivých metodách měření byly RPS body vyříznuty ze zmiňovaného výstřiku (pravá strana) family setu vertikální pásovou pilou. Obrázek 11.1 demonstruje vyříznutý RPS bod jako vzorek pro následující měření.



Obr. 11.1: Ukázka odebraného RPS bodu z výstřiku

### 11.2. Nedestruktivní měření otvoru výstupku

Otvor RPS bodu je určen pro šroub. Nedestruktivními metodami měření se zjistí, jak se otvor zmenšuje a v jaké délce se vada vyskytuje. Pro určení průměru otvoru jsou použity kalibrované válečky (obr. 11.2.) a délka je měřena pomocí posuvného měřítka. Měření délky je považováno za orientační, protože v průběhu se špatně určovala výchozí poloha vady (bude vysvětleno dále).



Obr. 11.2: Krabice kalibračních válečků o rozsahu  $\varnothing$  (1,550 ÷ 6,275) mm. Přesnost měření je 0,025

### 11.2.1. Určení zúženého průměru otvoru

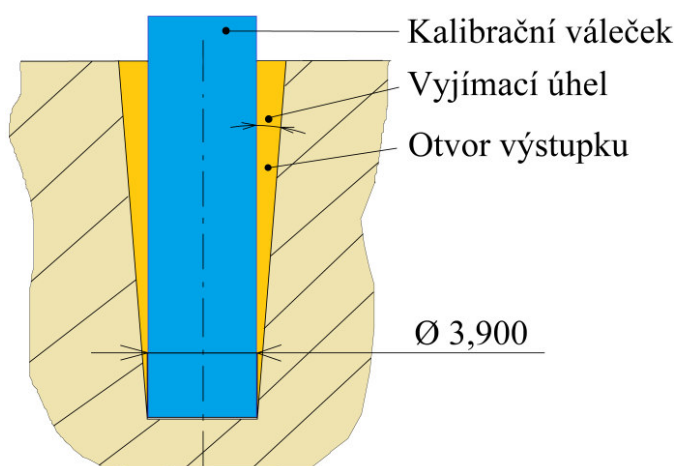
Koncepce měření je založena na vkládání kalibračních válečků do otvoru RPS bodu. Největší možný průměr válečku, který zapadne na dno, je hledaná hodnota. Měření se provádí na všech 30 vzorcích.

První měření pro vzorky s dobou chlazení  $t_{ch1} = 12$  s (tab. 11.2)

Tab. 11.2: Hodnoty nejmenších průměrů otvoru pro  $t_{ch1}$ .

t <sub>chl</sub> = 12 s				
Vzorek	d [mm]		Vzorek	d [mm]
1	3,900		6	3,900
2	3,900		7	3,900
3	3,900		8	3,900
4	3,900		9	3,900
5	3,900		10	3,900
Průměr = 3,900				

Vkládání válečků se provádí jemně s citem. Podle zvuku zapadnutí válečku do otvoru se rozpozná, jestli se váleček zastavil o dno, nebo se zbrzdil o stěnu. Je třeba si uvědomit přítomnost vyjímacích úhlů (obr. 11.3).



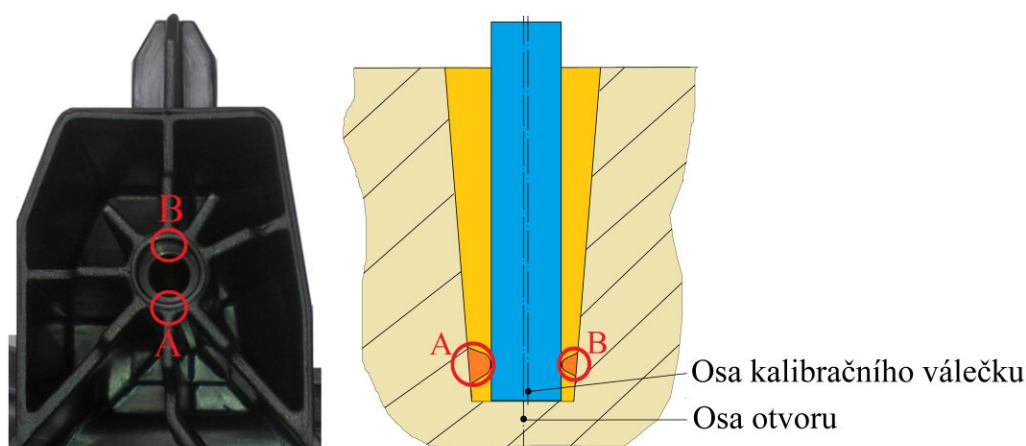
Obr. 11.3: Schéma vkládání kalibračních válečků se znázorněným vyjímacím úhlem.

Druhé měření pro vzorky s dobou chlazení  $t_{ch2} = 10$  s (tab. 11.3)

Tab. 11.3: Hodnoty nejmenších průměrů otvoru pro  $t_{ch2}$ .

t <sub>ch2</sub> = 10 s				
Vzorek	d [mm]		Vzorek	d [mm]
1	3,600		6	3,500
2	3,350		7	3,625
3	3,800		8	3,400
4	3,475		9	3,750
5	3,500		10	3,450
Průměr = 3,545 ± 0,139				

Z výsledných hodnot je patrná rozměrová nestabilita. Všechny hodnoty jsou menší, než požadovaný rozměr (průměr otvoru - 3,900 mm). Při vkládání kalibračních válečků bylo posouzeno, že se vada vytváří téměř u dna. Pro lepší specifikaci vady se do otvoru posvítilo baterkou a lomem světla bylo možné do určité míry rozpoznat, kde se vada projevuje nejvíce. Plast, tvořící vnitřní stranu otvoru, zatéká směrem k ose. To se děje v místě spoje stěny otvoru a žebra (obr. 8.5.). Toto je první místo, kde se plast zatéká - označeno jako místo A. Druhé místo, ve kterém plast zatéká, ale v menší míře, je také ve spoji otvoru s žebrem, právě naproti zmiňovanému místu A - označeno jako místo B (obr. 11.4.). Z obrázku je také patrná nesouosost vkládaného kalibračního válečku a otvoru.



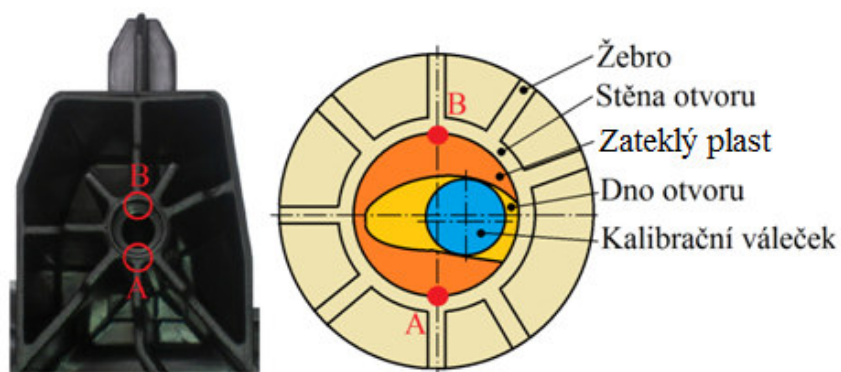
Obr. 11.4: Pozice prvních míst vzniku vady - místo A, místo B

Třetí měření pro vzorky s dobou chlazení  $t_{ch3} = 8$  s (tab. 11.4).

Tab. 11.4: Hodnoty nejmenších průměrů otvoru pro  $t_{ch2}$ .

$t_{ch3} = 8$ s			
Vzorek	d [mm]	Vzorek	d [mm]
1	1,750	6	1,600
2	1,550	7	1,550
3	1,725	8	1,700
4	1,575	9	1,600
5	1,575	10	1,725
Průměr = $1,635 \pm 0,076$			

Po osvětlení otvoru baterkou je vidět zateklý plast téměř po celém obvodu vnitřní stěny (obr. 11.5). Největší rozsah zatečení je v místech A a B. Kalibrační válečky není možné vkládat do osy otvoru vlivem zateklého plastu. To je znázorněno také na obrázku 11.5. Jsou zaznamenány jen ty hodnoty kalibračních válečků, které projdou až na dno otvoru.

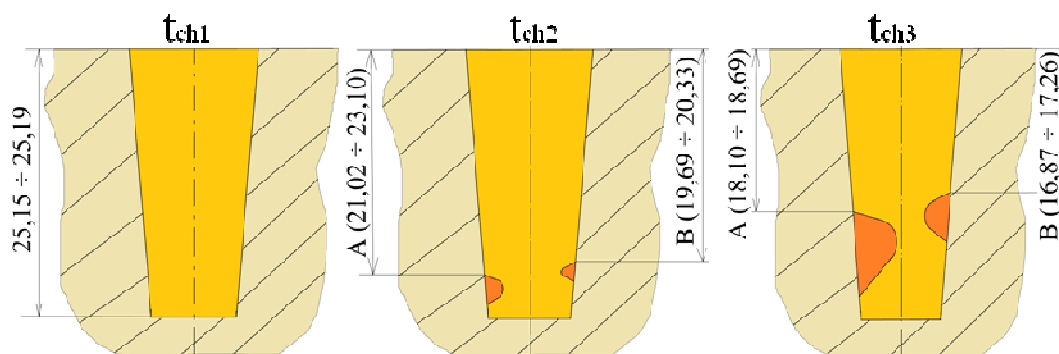


Obr. 11.5: Půdorysový pohled otvoru (vlevo) a schematické znázornění zateklého plastu (vpravo) pro  $t_{ch3} = 8$  s

### 11.2.2. Určení zkrácení hloubky otvoru pro šroub

Jak již bylo řečeno v kapitole 8, problémem je zkrácení otvoru pro vstup montážního šroubu, kterým se upevňuje klimatizační jednotka k vnitřní konstrukci automobilu pod kapotou. Tímto měřením se provedla orientační analýza toho, jaký je vliv doby chlazení ( $t_{ch}$ ) na toto zkrácení. Měření všech třiceti vzorků se provedlo pomocí digitálního posuvného měřítka s přesností 0,01 mm. Na obrázku 11.6

je znázorněna metoda měření a rozsah naměřených hodnot. Tabulka všech hodnot je přidána do přílohy 5.



Obr. 11.6: Ukázka způsobu měření a rozsah naměřených hodnot hloubky

Pro dobu chlazení  $t_{ch1}$  je otvor bez vady. Délka otvoru je  $25,15 \div 25,19$  mm. Pro další doby chlazení, kdy se vada začíná projevovat, se měří, v jaké hloubce se vyskytuje zateklý plast. Dle předchozí analýzy průměru otvoru byla zjištěna dvě místa prvního vzniku vady (místo A a místo B). Tato místa se změřila zvlášť.

Pro dobu chlazení  $t_{ch2}$  se objevuje zateklý plast v místě A v rozsahu  $21,02 \div 23,10$  mm, a v místě B v rozsahu  $19,69 \div 20,33$  mm. V době chlazení  $t_{ch3}$  se objem zateklého plastu zvětšuje a i zkrácení otvoru je významnější, konkrétně v rozsahu  $18,10 \div 18,69$  mm v místě A a  $16,87 \div 17,26$  mm v místě B.

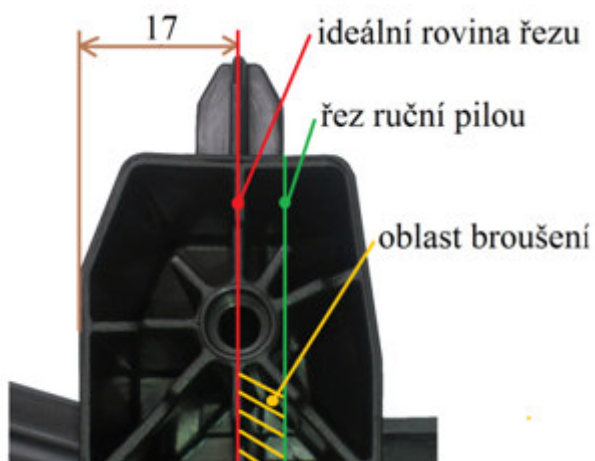
### 11.3. Destruktivní měření otvoru výstupku

Z předchozí kapitoly 11.2 bylo zjištěno, že se nejvíce zatéká plast v místě A a v místě B. Cílem tohoto měření je podrobněji zanalyzovat tato místa a vizuálně prověřit charakter vady.

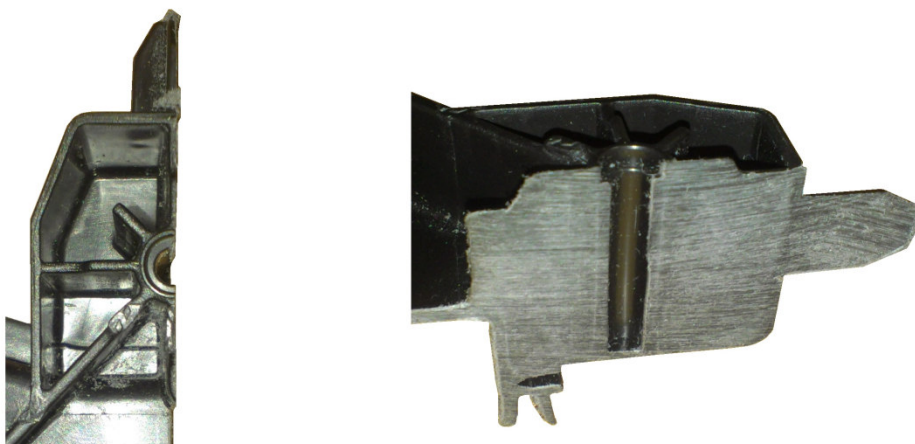
Před samotným měřením je třeba vzorky připravit. Ideální stav připraveného vzorku je řez osou otvoru takovým způsobem, aby řez protínal místa A a B. Takto se připravilo všech 30 vzorků.

Vzhledem ke složitému tvaru vzorku a snaze vykonat řez co nejpřesněji, byl tento proces proveden na dvě fáze (obr. 11.7). V první fázi se provedl řez ruční pilou ve vzdálenosti cca 5 mm od osy otvoru. A v druhé fázi se vzorek brousil na rotačním brusném kotouči do pozice osy otvoru. Řezné podmínky brusného kotouče byly nastaveny tak, aby nedošlo při odebírání materiálu k teplotním ovlivnění.

Pomocí digitálního posuvného měřítka se kontrolovala vzdálenost osy otvoru a boční stěny vzorku. Aby se docílilo požadovaného řezu, musí být tento rozměr zhruba 17 mm (obr. 11.7).



Obr. 11.7: Ideální představa řezu pro další metodu měření.



Obr. 11.8: Reálné provedení řezu.

Tímto způsobem připravené vzorky (obr. 11.8), všech 30, lze dále analyzovat na digitálním mikroskopu Keyence VHX-600. Obrázek mikroskopu je uveden v příloze 6.



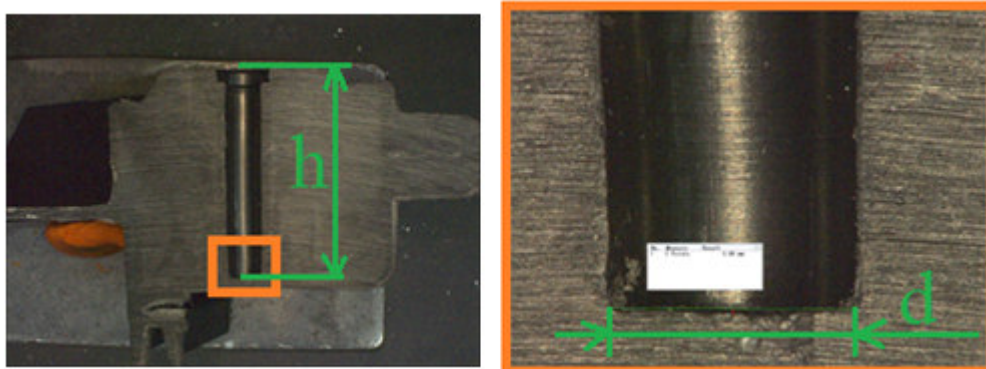
### 11.3.1. Měření na digitálním mikroskopu

Plocha řezu vzorku je umístěna kolmo na osu objektivu (obr. 11.9). Měří se nejmenší průměr otvoru ( $d$ ) a hloubku ( $h$ ), kde se tento průměr vyskytuje. Měření bylo opět provedeno na všech 30ti vzorcích.

První měření pro vzorky s dobou chlazení  $t_{chl} = 12$  s (tab. 11.5)

Tab. 11.5: Naměřené hodnoty pro vzorky z  $t_{chl}$ .

t <sub>chl</sub> = 12 s						
vzorek	d [mm]	h [mm]		vzorek	d [mm]	h [mm]
1	3,89	25,04		6	3,87	25,07
2	3,90	25,04		7	3,89	25,03
3	3,88	25,10		8	3,90	25,08
4	3,87	25,02		9	3,87	25,05
5	3,86	25,06		10	3,88	25,04



Obr. 11.9: Upravené snímky z digitálního mikroskopu. Levý snímek je bez zvětšení a pravý snímek je se zvětšením 50x.

Při zkoumání na mikroskopu vada nebyla nalezena, to znamená, že pro dobu chlazení ( $t_{chl}$ ) je nejmenší průměr na dně otvoru (obr. 11.9). Je to dáno již zmiňovaným vyjímacím úhlem. Hloubka je měřená od počátku otvoru ke dnu. Bohužel se hloubku nepodařilo naměřit pomocí digitálního mikroskopu, protože nebylo možné vzorek nastavit tak, aby byl kolmý po celou délku otvoru na osu objektivu. Proto se při měření hloubky použilo digitální posuvné měřítko.

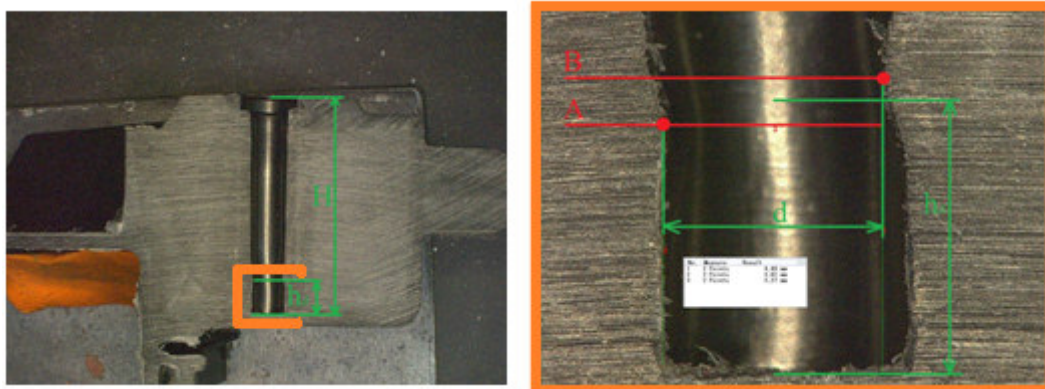
Průměrná hodnota průměru otvoru  $d = 3,88 \pm 0,01$  mm a hloubky  $h = 25,05 \pm 0,02$  mm.

Druhé měření pro vzorky s dobou chlazení  $t_{ch2} = 10$  s (tab. 11.6)

Při tomto měření se vada objevuje. Hodnoty, které jsou zaznamenány, jsou opět nejmenší průměr otvoru ( $d$ ) a hloubka, ve které se tento průměr, v tomto případě vada, vyskytuje. Plast zatéká na dvou místech, které jsou označeny jako místo A a místo B. Při detailních záběrech má každé místo vady vlastní tvarovou identitu, proto se hloubka ( $h$ ) nedá přesně určit jako jedna hodnota. Pro získání parametru, který určí hloubku vady, je zvolen aritmetický průměr mezi vrcholem zateklého plastu v místě A a v místě B - označeno jako  $h_d$ . Pro lepší představu je na obrázku 11.10. zobrazena koncepce měření. Rozměr  $H$  je hloubka dna otvoru.

Tab. 11.6: Naměřené hodnoty pro vzorky z  $t_{ch2}$ .

t <sub>ch2</sub> = 10 s								
vzorek	d	h <sub>d</sub>	H-h <sub>d</sub>		vzorek	d	h <sub>d</sub>	H-h <sub>d</sub>
1	3,61	3,60	21,50		6	3,49	3,78	21,26
2	3,31	3,89	21,16		7	3,57	3,53	21,53
3	3,67	2,86	22,19		8	3,34	4,00	21,08
4	3,38	4,01	20,99		9	3,45	3,44	21,61
5	3,50	4,02	21,06		10	3,62	3,72	21,31



Obr. 11.10: Upravené snímky digitálního mikroskopu pro dobu chlazení  $t_{ch2}$ .

Průměrná hodnota průměru otvoru  $d = 3,49 \pm 0,12$  mm a hloubky  $H - h_d = 21,38 \pm 0,34$  mm.

V příloze 7 je přidané obrázkové vysvětlení parametru  $h_d$  a v příloze 8 jsou ve větším měřítku zobrazené neupravené záběry z digitálního mikroskopu pro všechny doby chlazení.

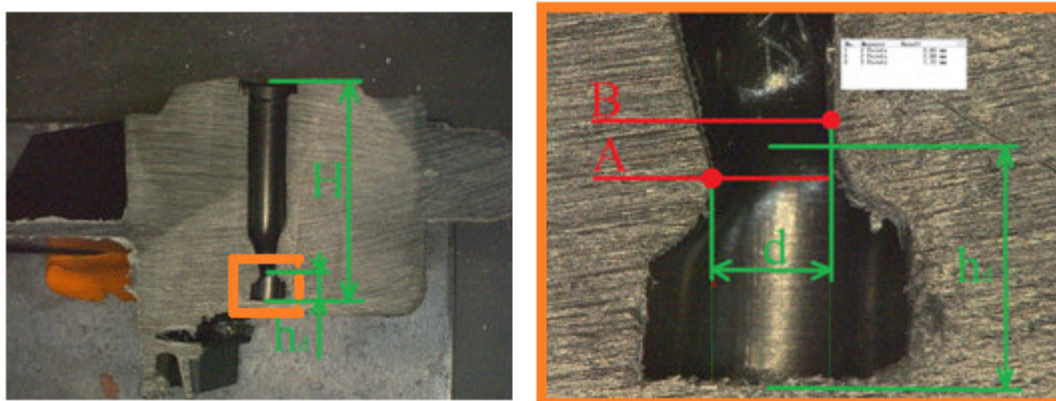


Třetí měření pro vzorky s dobou chlazení  $t_{ch3} = 8$  s (tab. 11.7)

Koncepce třetího měření je totožná s druhým měřením. Opět se měří parametry  $d$  (nejmenší průměr otvoru),  $h_d$  (vzdálenost nejmenšího průměru od dna otvoru) a  $H$  (hloubka dna otvoru).

Tab. 11.7: Naměřené hodnoty pro vzorky z  $t_{ch3}$ .

t <sub>ch3</sub> = 8 s								
vzorek	d	h <sub>d</sub>	H-h <sub>d</sub>		vzorek	d	h <sub>d</sub>	H-h <sub>d</sub>
1	1,72	3,38	21,65		6	1,57	3,43	21,63
2	1,45	3,43	21,60		7	1,36	3,54	21,49
3	1,65	3,39	21,63		8	1,68	3,65	21,44
4	1,54	3,81	21,19		9	1,49	3,38	21,67
5	1,40	3,39	21,64		10	1,63	3,41	21,61



Obr. 11.11: Upravené snímky digitálního mikroskopu pro dobu chlazení  $t_{ch3}$ .

Z obrázku 11.11. je vada v otvoru zřetelná. Pro tuto dobu chlazení ( $t_{ch3}$ ) je zateklý plast nejvíce rozsáhlý. Z naměřených hodnot je vidět rapidní snížení průchodnosti otvoru zmenšením průměru  $d$ . Průměrná hodnota průměru otvoru  $d = 1,55 \pm 0,12$  mm a hloubky  $H-h_d = 21,54 \pm 0,14$  mm.

#### 11.4. Závěr experimentu RPS bodu s původní konstrukcí formy

Z analýzy kritického místa metodami nedestruktivními a destruktivními se zjistilo, že zkrácení otvoru způsobuje zateklý plast, který nestihne ve formě ztuhnout. Analýza prokázala, jaký vliv na tvorbu vady má změna doby chlazení. Se zkrácením doby chlazení o 2 sekundy se vada prokazuje zatečením plastu

k ose otvoru, o 4 sekundy je průměr otvoru rapidně menší a tím se průchodnost pro montážní šroub ještě více zhoršuje.

Aritmetický průměr hloubky vrcholů míst A a B ( $h_d$ ) se při porovnání dob chlazení  $t_{ch2}$  a  $t_{ch3}$  zmenšuje. To je pravděpodobně dáno hmotností neztuhlé taveniny plastu, která po odformování klesá vlivem gravitačních sil.

Při analýze digitálním mikroskopem se u některých vzorků objevila staženina (obr 11.12). Ta vzniká smrštěním, která probíhá vlivem vysokých teplot až po odformování.

Po odformování má plast prostor a zateče do míst, kde není odpor pro přesun plastu. To je znázorněno v destruktivním měření, kde plast zatéká směrem k ose otvoru, protože tam je teplota vnitřního průměru otvoru vyšší.

Ze snímků z digitálního mikroskopu je vidět, že vada není úplně u dna otvoru, a to díky dostatečnému odvodu tepla kovovou částí formy pod dnem výstupku. Dno otvoru výstupku tvoří plochá stěna plastu, která společně s žebry má za následek zvýšení teploty v oblasti výskytu vady. Právě složitost tvaru v této části vzorku má za následek kumulaci vysoké teploty. Tato oblast je dostatečně chlazená do míst zhruba 2 mm od dna otvoru, kde vada není. V další části se teplo nestačí odvést, proto plast neztuhne, a po odformování zateče.

Příčinou vady je jednoznačně nedostatečný a krátký odvod tepla. To souvisí s dobou chlazení a s konstrukcí formy. Konstrukce formy kritického místa (RPS bod) nedokáže odvádět větší množství tepla, které se v otvoru koncentruje. Tento problém je tématem další části diplomové práce.



Obr. 11.12: Staženina ve vzorku

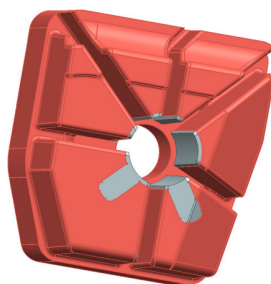
## 12. Experiment s upravenou konstrukcí formy

Navržené řešení pro eliminaci vady je změna materiálu a změna konstrukce vložky popsané v kapitole 9.1. Materiál, který je zvolen, je Moldmax V. V tabulce 12.1 jsou uvedené některé vlastnosti z materiálového listu, který je v celé podobě uveden v příloze 2. Moldmax V je slitina mědi, niklu a křemíku. Tento materiál se vyznačuje vysokou tepelnou vodivostí. Je přímo určený pro vstřikovací formy a svými vlastnostmi umožňuje zkrácení doby chlazení.

Tab. 12.1: Vybrané vlastnosti Moldmaxu V z materiálového listu [21]

	Tvrdost HRC	Tepelná vodivost při teplotě 100°C [W/m·K]	Teplota tání [°C]	Modul pružnosti [GPa]
Moldmax V	28	13,3	982	128

Vložka, která tvoří převážný tvar RPS bodu, se kromě změny materiálu upraví i v konstrukci. Jsou tu dvě změny. Jedna změna je zmenšení průměru otvoru vložky z 10,16 mm na 9,53 mm. Druhá změna je v počtu žeber, který se snížil o dvě. Obě tyto konstrukční změny jsou uvedeny na obrázku 12.1.



Obr. 12.1: Červeně označené oblasti jsou shodné s původní konstrukcí vložky a šedé oblasti označují změny pro novou vložku

Cílem změny materiálu je lepší odvod tepla z koncentrované oblasti, kde se teplo nestačí odvádět před odformováním. Cílem změny konstrukce formy je snížení tloušťky stěny výstupku - zmenšení vnějšího průměru výstupku RPS bodu. To společně s odebráním dvou žeber zmenší objem materiálu v dané oblasti. Účelem je zamezit hromadění materiálu, které je příčinou vzniklých staženin (lunkrů) v tloušťce stěny výstupku, což vede i k rychlejšímu odvedení tepla z formy.

Původním záměrem diplomové práce, zabývající se zkracováním doby chlazení, bylo postupovat po jedné úpravě od původní vložky RPS bodu. To znamená vyčíslit vliv změny materiálu, vliv odebrání žeber a v neposlední řadě vliv zmenšení tloušťky stěny výstupku. Realita byla taková, že nebyla časová, personální ani technická kapacita, aby se mohly jednotlivé změny testovat postupně. Proto se po vyhodnocení nejlepšího možného řešení změny na vložce provedlo všechno najednou. Na obrázku 12.2 je zobrazena nová vložka s popsanými změnami.



Obr. 12.2: Upravená nová vložka (vlevo) a čep do vložky (vpravo)

Skutečnost je taková, že oblast, kterou se diplomová práce zabývá, je časově velmi náročná. A to hlavně proto, že se vyrábí se na tři směny, často šest dní v týdnu. To znamená, že potřebná forma a stroj nejsou pro průběžné testování k dispozici. Další faktor, který znemožňuje provedení původní několikafázové koncepce řešení, je nástrojárna. S tou je nezbytné spolupracovat, protože výměna vložky pro RPS bod obnáší rozebrání a zpětné složení formy. Celková doba výměny vložek je 3 hodiny.

Z toho vyplývá, že výměna vložky, vystříknutí vzorků a vrácení formy do původního stavu je záležitostí na celou jednu směnu. To je z hlediska výroby nereálné, není možné upřednostnit diplomovou práci před požadavky výroby, které jsou kladeny od zákazníka. Činnost nástrojárny je sestavována také podle potřeby výroby, ani s jejich časovým plánem se tedy nedá volně nakládat.

Z toho důvodu byly úpravy na vložce provedeny najednou, čímž se eliminovaly časové nároky testování během vytížené výroby a nástrojárny dané oblasti.

### 12.1. Experiment RPS bodu s konstrukčními úpravami

Cílem experimentu je prověření, jestli upravená nová vložka docílí zkrátit dobu chlazení s požadovanou jakostí výstřiku. Proto byla provedena obdobná analýza jako v případě vzorků s původní vložkou. Měření teploty po vystříknutí, měření průměru otvoru pomocí kalibrovaných válečků a po rozřezání vzorků analýza na digitálním mikroskopu.

Konstrukce nově vystříknutého RPS bodu (obr.12.3) má odlišnou konstrukci - zmenšení tloušťky stěny výstupku a odebrání dvou žeber. Předpokládá se, že to má za následek snížení pevnostních vlastností. Především je pozornost zaměřena na krouticí moment. Zkouška kroutícího momentu je další součást analýzy RPS bodu.



Obr. 12.3: Pravá strana výměníku (vlevo) a RPS bod s konstrukčními úpravami (vpravo)

#### 12.1.1. Zkracování doby chlazení s upravenou vložkou ve formě

Postup při vstřikování je totožný jako v případě původní vložky (kapitola 11.1). Jedinou odlišností je počet vystříknutých vzorků, který se zvýšil z 10 na 20 vzorků na jednu dobu chlazení. To znamená 60 výstřiků. Důvodem je mít dostatek vzorků pro analýzu na digitálním mikroskopu a také pro zkoušku kroutícího momentu. V tabulce 12.2. jsou průměrné hodnoty z naměřených teplot. V příloze 9 jsou naměřené hodnoty pro všech 60 vzorků.

Tab. 12.2. Průměrné teploty otvoru výstupku

$t_{ch1} = 12 \text{ s}$			$t_{ch2} = 10 \text{ s}$			$t_{ch3} = 8 \text{ s}$	
Vzorek	T [°C]		Vzorek	T [°C]		Vzorek	T [°C]
Průměr	$60 \pm 5$		Průměr	$67 \pm 4$		Průměr	$72 \pm 3$

### 12.1.2. Měření průměru otvoru výstupku

Tato analýza je směrodatná pro zjištění přítomnosti vady. Postup měření je stejný jako v případě původní konstrukce RPS bodu. V příloze 10 jsou výsledné hodnoty všech 60ti vzorků naměřené pomocí kalibračních válečků. Tabulka 12.3 obsahuje průměrné hodnoty pro každou dobu chlazení zvlášť.

Tab. 12.3.: Průměrné výsledky průměrů nové konstrukce RPS bodu

$t_{ch1} = 12 \text{ s}$		$t_{ch2} = 10 \text{ s}$		$t_{ch3} = 8 \text{ s}$	
Vzorek	d [mm]	Vzorek	d [mm]	Vzorek	d [mm]
Průměr	$3,898 \pm 0,008$	Průměr	$3,910 \pm 0,012$	Průměr	3,925

Výsledné hodnoty průměrů se pohybují kolem požadovaného rozměru  $d = 3,9 \text{ mm}$  pro všechny doby chlazení. Tyto výsledky dokazují nepřítomnost zatečení plastu při snižování doby chlazení.

### 12.1.3. Měření na digitálním mikroskopu

Pro každou dobu chlazení je vystříknutých 20 vzorků. Z toho je 10 vzorků využito na analýzu na digitálním mikroskopu. Zbýlých 10 vzorků je uchováno na zkoušku kroutícího momentu, protože obě metody měření jsou destruktivní a nelze je vykonat na všech vzorcích.

Po vystříknutí se vzorky očíslovali a jejich značení pokračuje i v dalších testech. Pro analýzu na digitálním mikroskopu jsem vybral vzorky 1 až 10.

Koncepce měření je stejná jako v analýze původní konstrukce RPS bodu. Měří se nejmenší průměr otvoru. Předchozí analýza s vkládáním kalibrovaných válečků prokázala nepřítomnost vady, proto vzhledem k vyjímacím úhlům, se nejmenší průměr otvoru  $d$  vyskytuje na dně otvoru v hloubce  $h$ . Na obrázku 12.3 jsou snímky z digitálního mikroskopu pro všechny tři doby chlazení. Koncepce měření je shodná s popisem pro  $t_{ch1}$  s původní vložkou ve formě (kapitola 11.3.1).

Tab. 12.4 obsahuje průměrné hodnoty z měření hloubky a nejmenšího průměru otvoru výstupku pro všechny tři doby chlazení. Všechny naměřené hodnoty analýzy jsou v příloze 11.



Tab. 12.4: Průměrné hodnoty d a h pro vzorky z  $t_{ch1}$ ,  $t_{ch2}$  a  $t_{ch3}$

	$t_{ch1} = 12 \text{ s}$		$t_{ch2} = 10 \text{ s}$		$t_{ch3} = 8 \text{ s}$	
	d [mm]	h [mm]	d [mm]	h [mm]	d [mm]	h [mm]
Průměr	$3,91 \pm 0,02$	$25,04 \pm 0,02$	$3,91 \pm 0,01$	$25,07 \pm 0,02$	$3,92 \pm 0,01$	$25,03 \pm 0,01$



Obr. 12.3: Snímky z digitálního mikroskopu  $t_{ch1}$ ,  $t_{ch2}$  a  $t_{ch3}$

#### 12.1.4. Zkouška kroutícího momentu

Jak bylo uvedeno v kapitole 12.1, změnou konstrukce RPS bodu, odebráním dvou žebér a zmenšením tloušťky stěny výstupku, se předpokládá snížení pevnostních vlastností. A protože otvor výstupku je určen pro šroubový spoj, tak zkouška, která tyto pevnostní vlastnosti ověří, je zkouška kroutícího momentu.

Celkem se vykonaly zkoušky dvě. Zkouška opakovaného zašroubování a zkouška pro určení maximálního kroutícího momentu. Pro každou z těchto zkoušek bylo určeno 5 RPS bodů z každé doby chlazení. To znamená 15 vzorků pro opakovatelnost a 15 vzorků pro max. kroutící moment. Zařízení na kterém se vykonaly oba testy je TORQUE DRIVER - DESOUTTER ERDL 18Nm. Používaly se šrouby, které jsou přímo určeny pro spoj RPS bodu s konstrukcí vozidla. Na obrázku 14.4 je uveden jeden ze šroubů. Požadovaná hodnota zákazníka kroutícího momentu pro šroubový spoj RPS bodu je 4 Nm při otáčkách 500 ot/min.



Obr. 14.4: Montážní šroub pro RPS bod



### Zkouška opakovatelnosti

V této zkoušce je předem stanovený rozsah krouticího momentu, který je  $3,7 \div 4$  Nm. Zařízení (Torque driver) je schopné udržet krouticí moment v tomto rozpětí. Koncepce zkoušky je zašroubování s tímto momentem a zpětné vyšroubování. Takto se to opakuje 10x u každého vzorku.

Výsledkem je určení schopnosti RPS bodu dosáhnout požadovaného utahovacího momentu při opakovaném zašroubování. Touto zkouškou prošly všechny vzorky s všemi doby chlazeními s dobrým výsledkem. Na obrázku 12.5 je zobrazen RPS bod po vykonání testu.

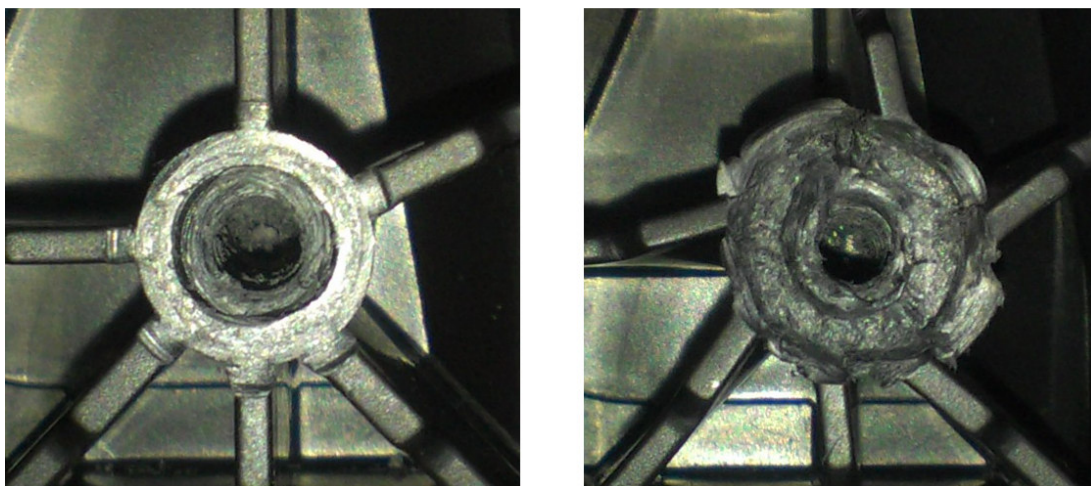
### Zkouška pro určení maximálního krouticího momentu

Požadovaná hodnota krouticího momentu je 4 Nm, ale DMCZ k tomuto konstrukčnímu prvku nasazuje 30% bezpečnost. Z toho plyne, že požadovaný RPS bod, který je možné odeslat zákazníkovi, musí mít minimální krouticí moment 5,2 Nm.

Koncepce měření je zašroubování šroubu až do dosažení maximálního krouticího momentu, kdy se závit stržen. V příloze 12 jsou uvedené průběhy některých testovaných vzorků. V tabulce 12.5 jsou uvedené maximální hodnoty krouticího momentu a na obrázku 12.5 je zobrazen RPS bod po této zkoušce.

Tab.12.5: Naměřené hodnoty krouticího momentu pro novou konstrukci RPS bodu

$t_{ch1} = 12$ s		$t_{ch2} = 10$ s		$t_{ch3} = 8$ s	
Vzorek	Mk [Nm]	Vzorek	Mk [Nm]	Vzorek	Mk [Nm]
1	5,901	1	5,765	1	5,623
2	5,932	2	5,709	2	5,658
3	5,954	3	5,847	3	5,700
4	5,923	4	5,754	4	5,678
5	5,910	5	5,782	5	5,641
Průměr	$5,924 \pm 0,018$	Průměr	$5,771 \pm 0,045$	Průměr	$5,660 \pm 0,027$



Obr. 14.5: Otvor vzorku po zkoušce opakovatelnosti (vlevo) a otvor vzorku po zkoušce maximálního krouťícího momentu (vpravo)

## 12.2. Dopad změn na ekonomiku výroby

V případě uvolnění nové vložky s konstrukčními změnami do výroby za účelem zkrácení doby chlazení lze vypočítat zvýšení produktivity. Vztah (12.1) demonstruje tento výpočet. V tabulce 12.5 je procentuálně uvedená produktivita k příslušné době chlazení a době vstřikovacího cyklu.

$$produktivita = \frac{t_c}{t_c(t_{chi})} \cdot 100\% \quad (12.1)$$

$i = 2,3$

$t_c$  = současná doba vstřikovacího cyklu,  $t_c = 31,26$

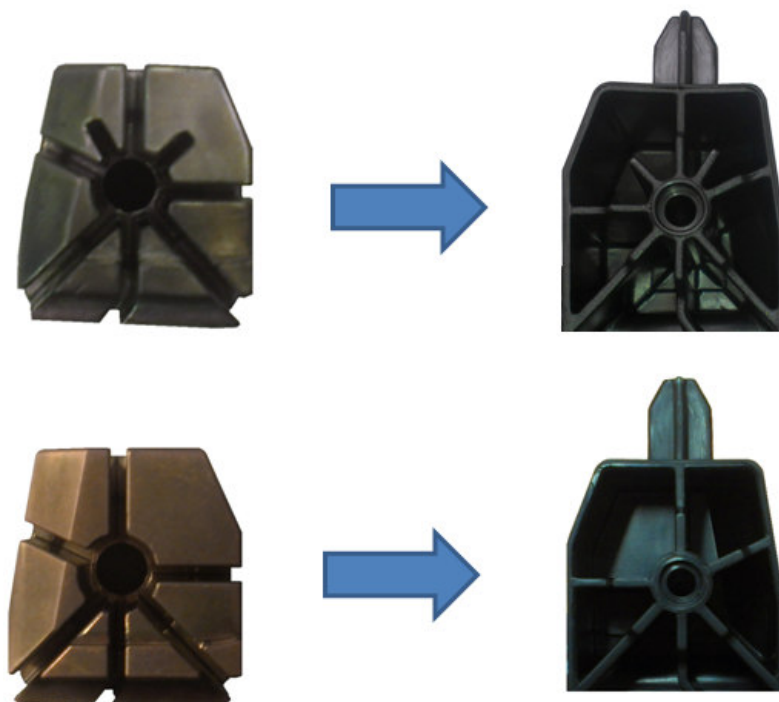
$t_c(t_{chi})$  = doba vstřikovacího cyklu se zkrácenou dobou chlazení

Tab. 12.5: Zhodnocení produktivity se zkrácením doby chlazení

i	$t_{chi}$ [s]	$t_c(t_{chi})$ [s]	produktivita [%]	růst produkce [%]
2	10	29,26	106,8	6,8
3	8	27,26	114,7	17,7

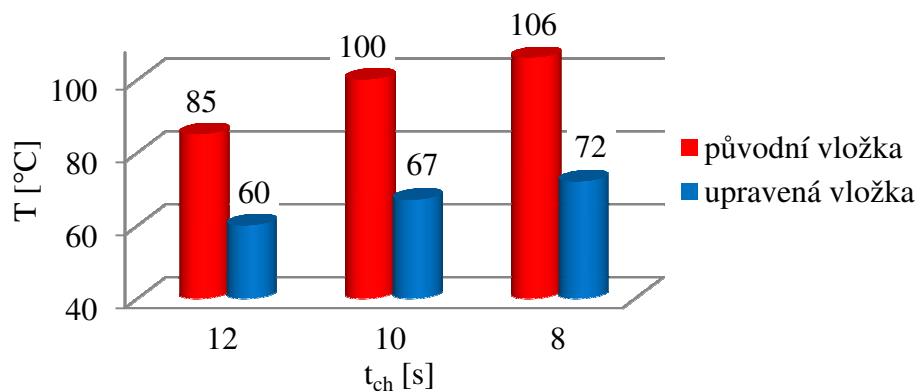
### 13. Vyhodnocení

Ve vyhodnocení jsou porovnány naměřené hodnoty pro vystříknuté RPS body s původní vložkou a s vložkou jejíž úpravy měly za úkol zkrátit dobu chlazení za požadované jakosti. Na obrázku 13.1 jsou vyobrazeny obě vložky společně s jejich vystříknutými RPS body.



Obr. 13.1: Původní vložka (nahore) a nová upravená vložka (dole)

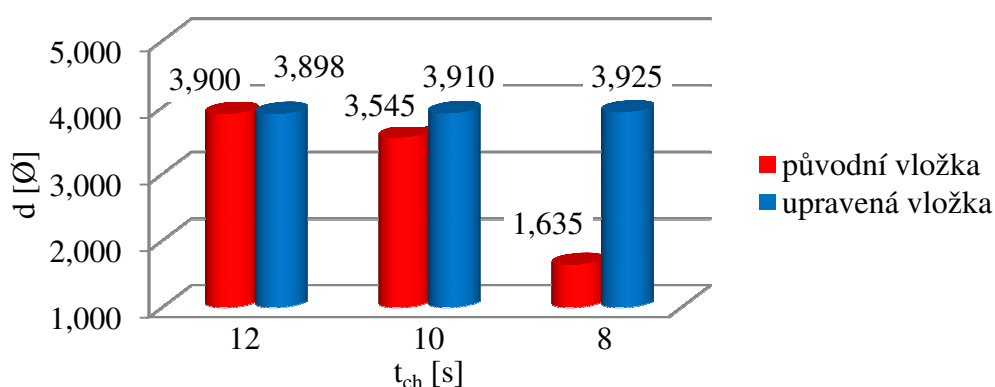
První porovnávané měření je teplota otvoru po vystříknutí podle postupu v kapitole 11.1. Na obrázku 13.2 je grafické vyjádření průměrných naměřených teplot.



Obr. 13.2: Grafické vyjádření teploty otvoru výstupku se snižující dobou chlazení

Z grafického vyjádření je patrné, že s upravenou vložkou se odvod tepla z otvoru výstupky odvádí lépe. Změna konstrukce a materiálu vložky snížila teplotu otvoru zhruba o 32%.

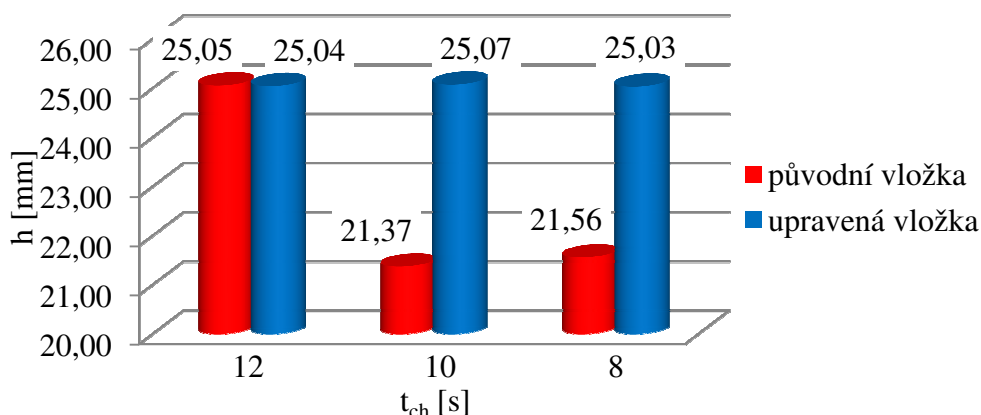
Druhé porovnávané naměřené hodnoty jsou z nedestruktivní metody měření otvoru výstupku pomocí kalibrovaných válečků. Tato metoda je popsána v kapitole 11.2.1. Na obrázku 13.3 je grafické vyjádření průměrných naměřených hodnot nejmenších průměrů otvoru.



Obr. 13.3: Grafické vyjádření nejmenších průměrů otvoru v závislosti na době chlazení

Průměr otvoru výstupku se s původní vložkou zmenšuje, protože dochází k zatečení plastu k ose otvoru. Pro dobu chlazení 8 s je otvor téměř uzavřen zateklým plastem. Naměřené hodnoty pro RPS body vystříknuté s upravenou vložkou se průměr otvoru nikterak neliší. Nejmenší průměr otvoru je u dna a jeho velikost se zásadně nemění.

V závislosti na naměřených průměrných hodnotách průměru otvoru je třetí porovnání zaměřeno na hloubku, která je určující pro daný průměr otvoru. Koncepce měření je popsána v kapitole 11.3.1. Výsledné hodnoty jsou v analytické části pro experiment pro vystřikované RPS body označeny  $h$ , pokud je otvor bez zateklého plastu a hloubka je naměřena až ke dnu otvoru, nebo  $H-h_d$ , kde nejmenší průměr otvoru je v hloubce se zateklým plastem k ose otvoru. Na obrázku 13.4 je grafické znázornění hloubky nejmenšího průměru otvoru výstupku.

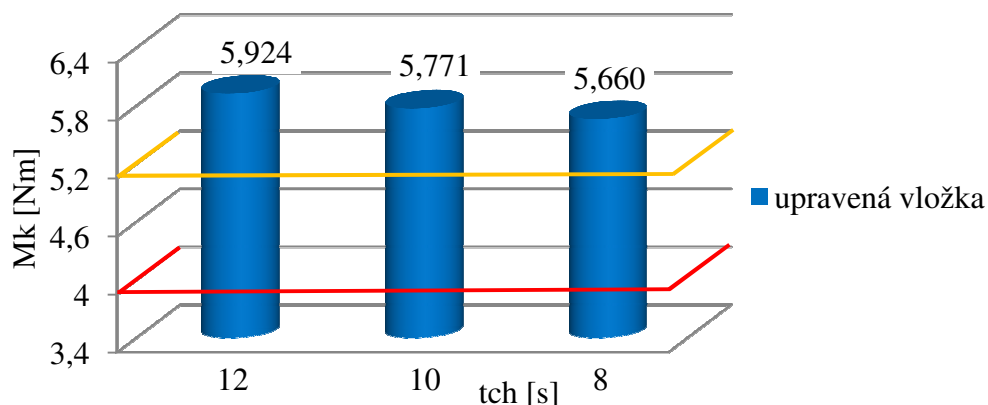


Obr. 13.4: Grafické vyjádření hloubky nejmenšího průměru otvoru výstupku v závislosti na době chlazení

Z grafu je patrné zkrácení otvoru pro RPS body vystříknuté s původní vložkou s dobou chlazení 10 s a 8 s. Otvor se ucpává v hloubce, kde se teplota nejhůře odvádí. V této hloubce a za těchto podmínek plast zatéká. U RPS bodů vystříknuté upravenou vložkou zateklý plast nevzniká ani a hloubka otvoru se při snížení doby chlazení nemění.

Další vykonané měření bylo na krouticí moment. Provedla se zkouška opakovaného šroubování a zkouška určení maximálního krouticího momentu. Obě zkoušky pro novou konstrukci RPS bodu vyšly s požadovanými výsledky. Zkouška opakovaného šroubování dopadla pro všechny vzorky ve všech třech dobách chlazení dobře. Všechna opakovaně šroubované RPS body si dosáhly při každém zašroubování požadovaný krouticí moment.

Hodnoty pro zkoušku určující maximální krouticí moment až do stržení závitu jsou uvedeny v grafu na obrázku 13.5. Hodnota předepsaná zákazníkem je 4 Nm a bezpečnost vystavená DMCZ na tuto hodnoty je 30%, to znamená, že požadovaná hodnota krouticího momentu je 5,2 Nm.



Obr. 13.5: Grafické vyjádření maximálního kroutícího momentu v závislosti na době chlazení. Červeně označená linie je hodnota stanovená zákazníkem a oranžová linie je hodnota stanovená DMCZ

Z grafu je patrná tendence snižování kroutícího momentu se zkracující dobou chlazení. Nicméně jsou všechny výsledky nad předepsanou hodnotou 5,2 Nm, takže i zkouška pro určení maximálního kroutícího momentu dopadla v souladu s požadavky.

V průběhu vypracování diplomové práce se z důvodu nedostatku času nepodařilo od zákazníka získat přesně specifikované podmínky měření, konkrétně jde o protikus při měření kroutícího momentu. Měření proběhlo bez protikusu, tudíž se mohou výsledky od požadovaných hodnot lišit a je nutné je brát pouze jako orientační.

## 14. Závěr

Cílem experimentu bylo zkrátit dobu chlazení úpravou kritického místa vstřikovaného dílu. Konkrétně se úpravy provedly na konstrukci vložky, která svým tvarem vytváří toto kritické místo (RPS bod). Výsledky experimentu, kde se porovnává původní vložka s novou upravenou vložkou, se jeví přínosně pro vložku s úpravami. Zateklý plast v upraveném RPS bodě nevzniká ani při nejnižší době chlazení  $t_{ch3} = 8$  s. Tudíž zkrácením doby chlazení o 4 s se po vystříknutí RPS bodu zachovává požadovaný rozměr.

Experiment diplomové práce však vyvolává několik nezodpovězených otázek, které je třeba si vyjasnit před uvedením upravené vložky do výroby. Jednak je zapotřebí znovu otestovat RPS bod na kroutící moment, ale tentokrát se všemi informacemi o podmínkách zkoušení od zákazníka, konkrétně jde o materiál a rozměry protikusu. A také tu je otázka jaký vliv bude mít nižší doba chlazení na životnost RPS bodu při užívání.

Aby se zkrácení doby chlazení ve výrobě schválilo je třeba testovat kvalitu i u ostatních výstřiků vyprodukovaných během jednoho cyklu (family set). Dle tohoto výzkumu by se dalo posoudit o kolik je možné dobu chlazení při vstřikování family setu zkrátit.

V případě vyřešení těchto otázek je spočítáno, že zkrácením doby chlazení o 2 s je možné zvýšit produktivitu práce o 6,7 % a v případě doby chlazení zkrácené o 4 s je možné zvýšit produktivitu až o 17,7 %.



## 15. Použití literatura

- [1] *DENSO ČR* [online]. © 2015 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.denso.cz/>
- [2] *CRU SERVIS s.r.o.* [online]. © 2015 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.cruservis.cz/>
- [3] *DENSO Global Website* [online]. © 2015 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.globaldenso.com/>
- [4] *DENSO* [online]. © 2015 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.denso-local.com/>
- [5] *DENSO News* [online]. © 2014 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.globaldenso.com/>
- [6] BASTL, Jiří. Technologie vstřikování termoplastů. České Budějovice, 2009. Dostupné z: <http://theses.cz/>. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce RNDr. František Špulák.
- [7] *Katedra tváření kovů a plastů - Skripta* [online]. © 2006 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/>
- [8] BĚHÁLEK, L. *Vlastnosti plastů, kompozitů a biopol.* [online]. © 2015 [cit. 2015-05-22] (Studijní materiály).
- [9] FERRAGE, Eric, Francois MARTIN, Alain Michel BOUDET, et al. Talc as Nucleating Agent of Polypropylene: Morphology Induced by Lamellar Particles Addition and Interface Mineral-Matrix Modelization. *Journal of Materials Science*. 2002, roč. 37, s. 1561-1573. ISSN 0022-2461.
- [10] BĚHÁLEK, L. *Vliv obsahu talku v PP na mechanické a reologické vlastnosti* [online]. © 2005 [cit. 2015-05-22]. Dostupné také z: <http://www.ksp.tul.cz/>
- [11] BUDCOVIČ, B. Martin. Využití optimalizace vstřikovacího procesu při výrobě plastových dílů [online]. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, © 2008 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://digilib.k.utb.cz/> 1. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [12] KREBS, J. *Teorie zpracování nekovových materiálů*. Krajská vědecká knihovna v Liberci: Technická univerzita v Liberci, 2006. ISBN 80-7372-133-3.
- [13] BOBEK, J. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů*. Liberec, 2014 [cit. 2015-05-22].
- [14] LENFELD, P. *Technologie vstřikování*. Liberec, 2014 [cit. 2015-05-22].

- [15] Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum. *Vady výstřiků – 1. díl: Příčiny vzniku vad a studené spoje* [online]. © 2010, (3) [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/>
- [16] KUTA, A. Technologie a zařízení pro zpracovávání kaučuků a plastů. Vyd. 1. Praha: VŠCHT, 1999. ISBN 80-7080-367-3.
- [17] *Institute of Manufacturing Technology: Vstřikovací formy* [online]. © 2008 [cit. 2015-05-22]. Dostupné také z: <http://ust.fme.vutbr.cz/>
- [18] Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum. *Principy konstrukce plastových výlisků* [online]. © 2013, (1) [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: [www.mmspektrum.com](http://www.mmspektrum.com)
- [19] *Design versus vyrobiteľnosť* [online]. © 1999 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.visi.cz/>
- [20] Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum. *Vady výstřiků – 2. díl: Vady tvaru a rozměrové vady* [online]. © 2010, (4) [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/>
- [21] *Online Materials Information Resource - MatWeb: Schmolz + Bickenbach MoldMAX® V Copper Alloy* [online]. © 1996 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: [www.matweb.com](http://www.matweb.com)
- [22] *Rubber Machinery: Engel - injection unit 11 050* [online]. © 2012 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.eurotecsls.com/>

## 16. Seznam příloh

Příloha 1: Obr. 1: Vstřikovací forma experimentu a její pevná strana

Příloha 2: Tab. 1: Materiálový list - Moldmax V

Příloha 3: Tab. 2: Parametry vstřikovacího stroje pro experiment

Příloha 4: Obr. 2: Obrázkový postup vstřikování výstřiků s následným měřením teploty otvoru kritického místa

Příloha 5: Tab. 3, tab. 4, tab. 5: určení zkrácení otvoru pro šroub

Příloha 6: Obr. 3: Mikroskop Keyence VHX-600

Příloha 7: Obr. 4: Specifikace parametru  $h_d$

Příloha 8: Obr. 5: Snímky z digitálního mikroskopu pro vystříknuté RPS body s původní vložkou

Příloha 9: Tab. 6: Teploty nové konstrukce RPS bodu po vystříknutí

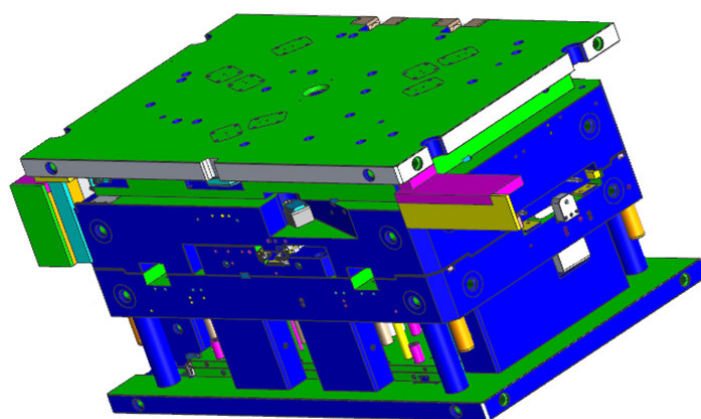
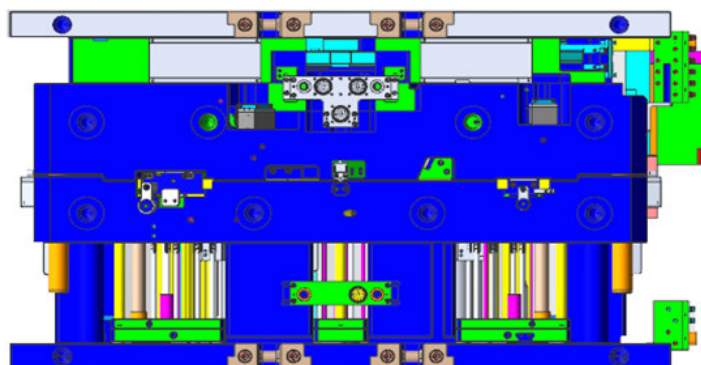
Příloha 10: Tab. 7: Průměr otvoru nové konstrukce RPS bodu

Příloha 11: Tab. 8: Naměřené hodnoty průměrů a hloubek pro vzorky z  $t_{ch1}$ ,  $t_{ch2}$  a  $t_{ch3}$

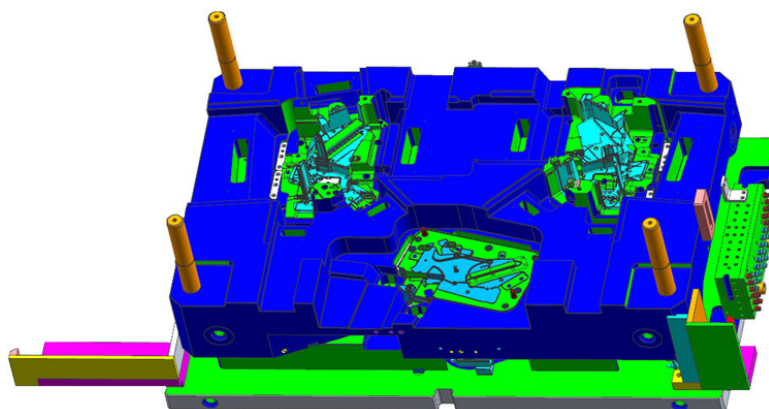
Příloha 12: Obr. 6: Grafické znázornění průběhu stržení závitu při určování maximálního kroutícího momentu a pracoviště se zařízením Torque driver - Desoutter ERDL1 8Nm

## Příloha 1

### Vstřikovací forma experimentu



### Pevná strana formy - tvárnice



Obr.1: Vstřikovací forma experimentu a její pevná strana

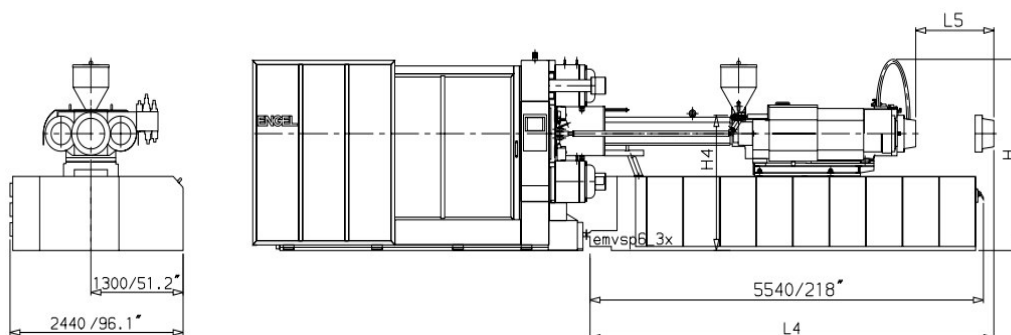
## **Příloha 2**

Tab. 1: Materiálový list - Moldmax V [21]

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	8.69 g/cc	0.314 lb/in <sup>3</sup>	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Rockwell C	28	28	
Tensile Strength, Ultimate	862 MPa	125000 psi	
Tensile Strength, Yield	724 MPa @Strain 0.200 %	105000 psi @Strain 0.200 %	
Elongation at Yield	7.0 %	7.0 %	
Modulus of Elasticity	128 GPa	18500 ksi	
Fatigue Strength	>= 275 MPa @# of Cycles 1.00e+7	>= 39900 psi @# of Cycles 1.00e+7	(R=-1)
Charpy Impact	6.78 J	5.00 ft-lb	Notched
Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear	17.5 µm/m-°C	9.72 µin/in-°F	
Specific Heat Capacity	0.410 J/g-°C @Temperature 100 °C	0.0980 BTU/lb-°F @Temperature 212 °F	
Thermal Conductivity	13.3 W/m-K @Temperature 100 °C	92.0 BTU-in/hr-ft <sup>2</sup> -°F @Temperature 212 °F	
Melting Point	>= 982 °C	>= 1800 °F	approximate
Solidus	982 °C	1800 °F	approximate
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Copper, Cu	88.8 - 91.4 %	88.8 - 91.4 %	
Nickel, Ni	6.5 - 7.5 %	6.5 - 7.5 %	
Silicon, Si	1.5 - 2.5 %	1.5 - 2.5 %	

### Příloha 3

Tab. 2: Parametry vstřikovacího stroje pro experiment [22]

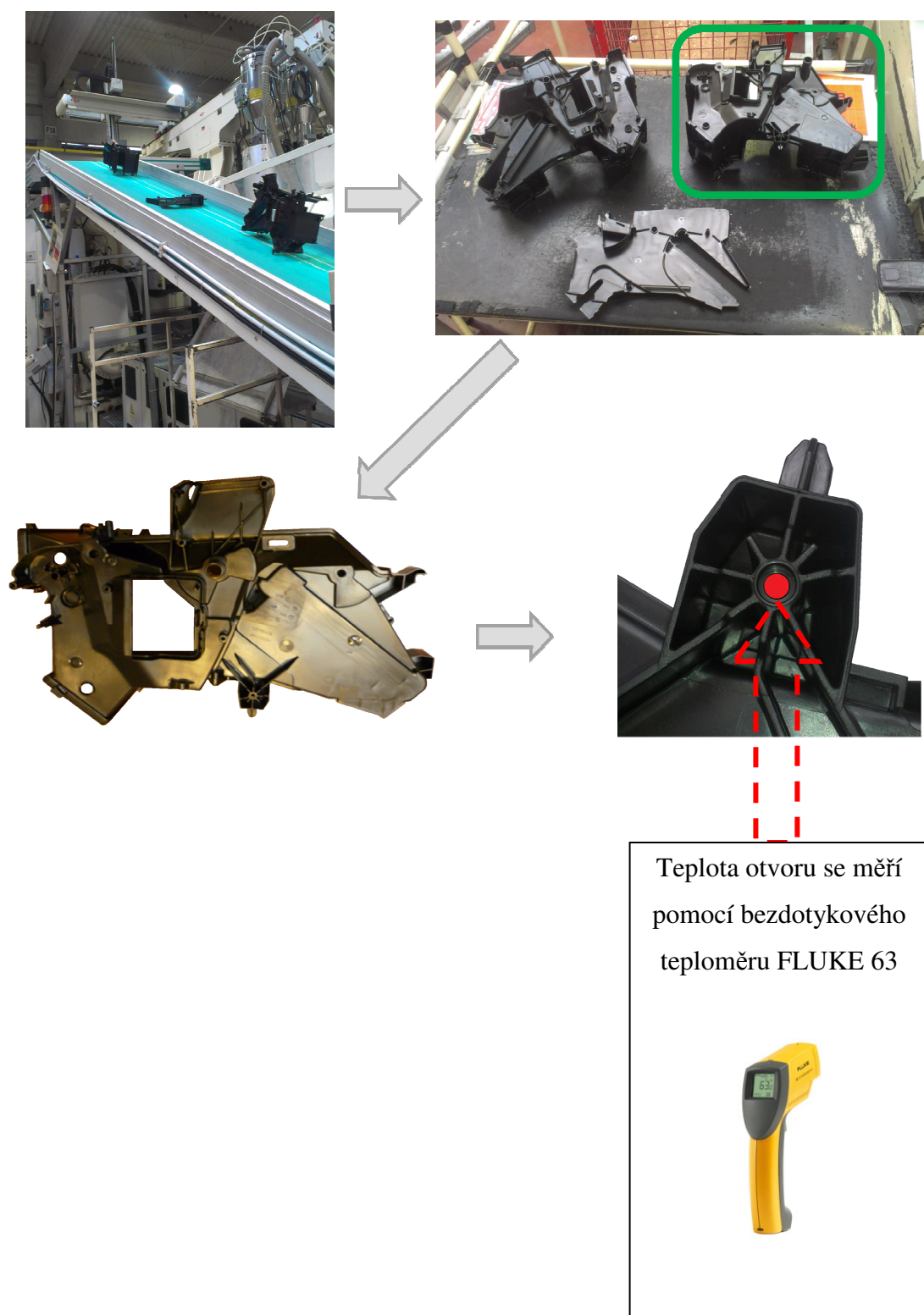


Machine designation	Weight injection unit		L4		L5		H		H4	
	to	US tons	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in
DUO 11050 / 1300	18	19.8	5540	218	950	38	2640	104	1930	76

Speed-controlled electric screw drive (Option)			Normal	Increased rpm	Increased torque
Power	kW		97	109	97
	hp		130	146	130
RPM	min <sup>-1</sup>		120	140	85
Torque	Nm @ 60% ED		8600	8600	12300
	lb <sub>r</sub> -ft @ 60% Duty		6300	6300	9100
Cooling water consumption	m <sup>3</sup> /h		1.4	1.4	1.4
	US gal/min		6.2	6.2	6.2

#### Příloha 4



Obr. 2: Obrázkový postup vstřikování výstřiků s následným měřením teploty otvoru kritického místa



## Příloha 5

### NEDESTRUKTIVNÍ METODA MĚŘENÍ

#### Určení zkrácení otvoru pro šroub

Měření hloubky vzniku vady v otvoru pomocí posuvného měřítka

Tab. 3: Hloubka otvoru  $h$  pro  $t_{ch1}$

$t_{ch1} = 12 \text{ s}$			
Vzorek	$h \text{ [mm]}$	Vzorek	$h \text{ [mm]}$
1	25,16	6	25,17
2	25,15	7	25,17
3	25,16	8	25,16
4	25,19	9	25,17
5	25,19	10	25,19

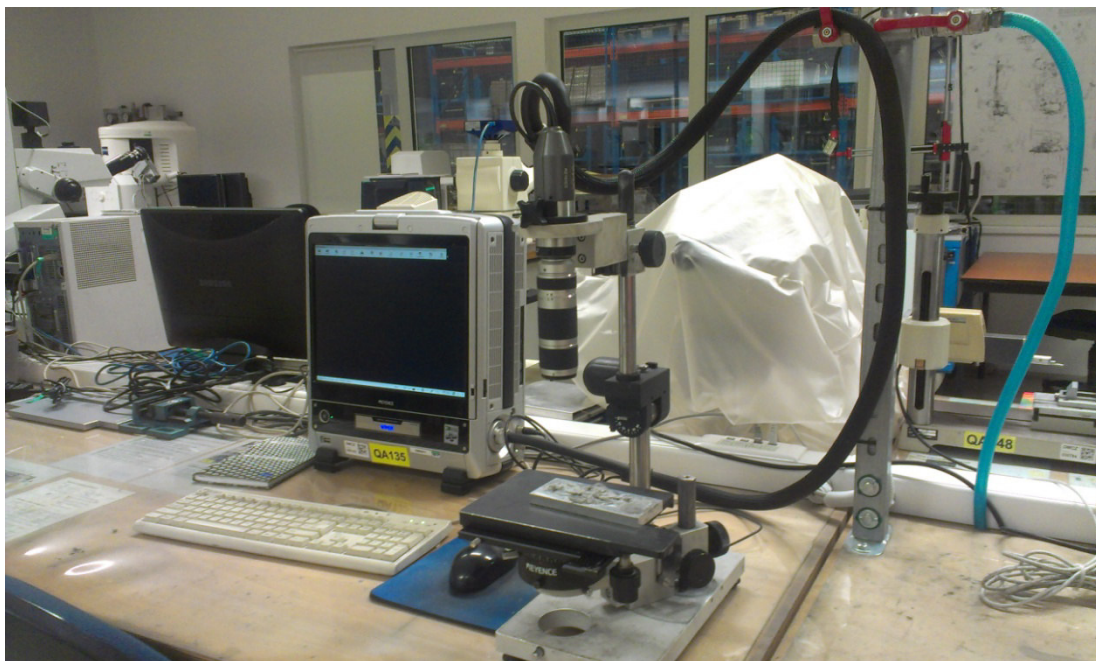
Tab. 4: Hloubka v místech A a B, kde vzniká vada pro  $t_{ch2}$

$t_{ch2} = 10 \text{ s}$					
vzorek	$h_A \text{ [mm]}$	$h_B \text{ [mm]}$	vzorek	$h_A \text{ [mm]}$	$h_B \text{ [mm]}$
1	23,10	20,02	6	22,20	19,73
2	21,02	20,10	7	21,74	20,15
3	22,35	19,87	8	23,03	19,92
4	21,22	20,33	9	21,11	20,16
5	22,57	19,69	10	22,15	20,05

Tab. 5: Hloubka v místech A a B, kde vzniká vada pro  $t_{ch3}$

$t_{ch3} = 8 \text{ s}$					
vzorek	$h_A \text{ [mm]}$	$h_B \text{ [mm]}$	vzorek	$h_A \text{ [mm]}$	$h_B \text{ [mm]}$
1	18,10	16,87	6	18,25	17,12
2	18,69	17,26	7	18,54	16,97
3	18,64	16,91	8	18,62	17,14
4	18,66	17,10	9	18,41	16,94
5	18,30	17,21	10	18,58	17,19

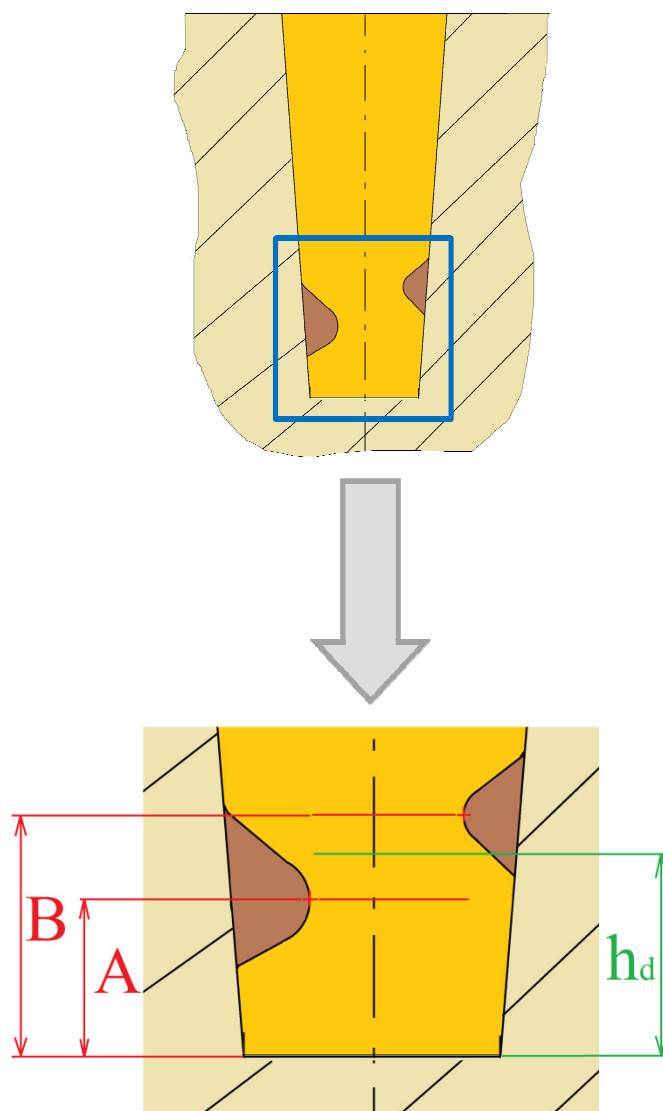
## Příloha 6



Obr: 3: Mikroskop Keyence VHX-600

## Příloha 7

### MĚŘENÍ NA DIGITÁLNÍM MIKROSKOPU



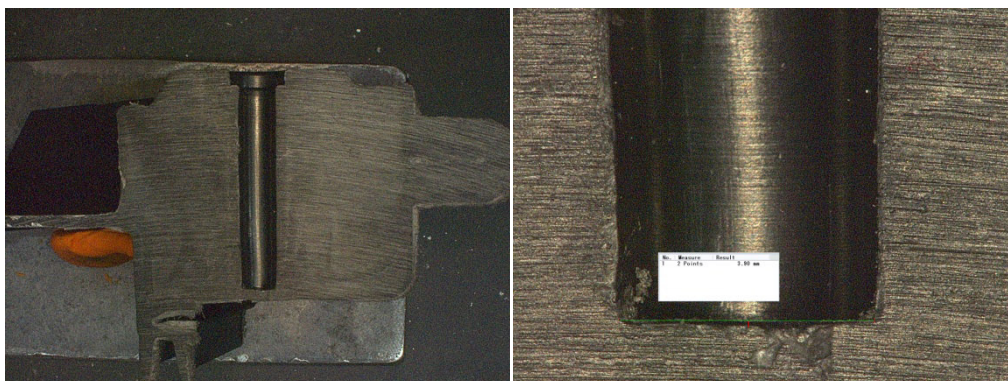
$$h_d = \frac{A + B}{2}$$

Obr. 4: Specifikace parametru  $h_d$

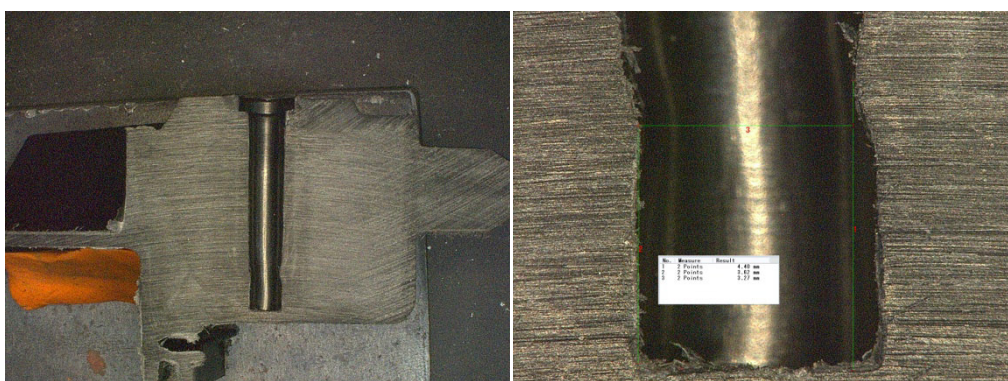
## Příloha 8

### MĚŘENÍ NA DIGITÁLNÍM MIKROSKOPU

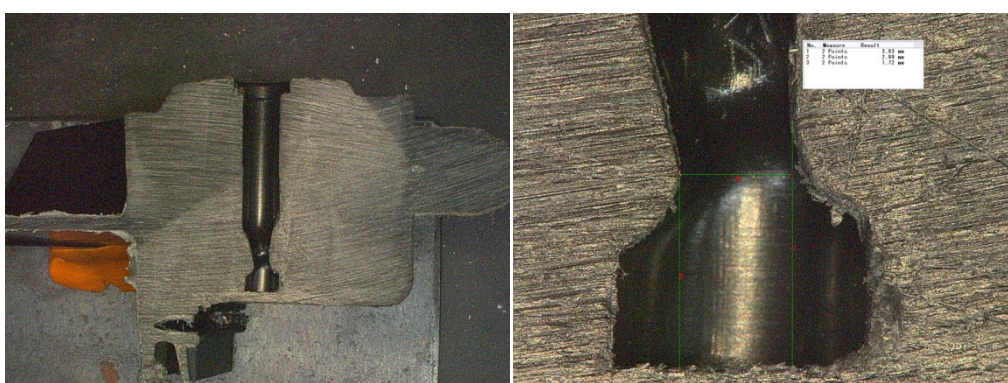
t<sub>ch1</sub>



t<sub>ch2</sub>



t<sub>ch3</sub>



Obr. 5: Snímky z digitálního mikroskopu pro vystříknuté RPS body s původní vložkou

## Příloha 9

### EXPERIMENT S UPRAVENOU KONSKTRUKCÍ FORMY

Zkracování doby chlazení s upravenou vložkou ve formě

Tab. 6: Teploty nové konstrukce RPS bodu po vystříknutí

$t_{ch1} = 12 \text{ s}$		$t_{ch2} = 10 \text{ s}$		$t_{ch3} = 8 \text{ s}$	
Vzorek	T [°C]	Vzorek	T [°C]	Vzorek	T [°C]
1	58	1	67	1	74
2	47	2	60	2	69
3	58	3	60	3	72
4	63	4	70	4	63
5	59	5	70	5	76
6	60	6	64	6	72
7	62	7	68	7	76
8	62	8	76	8	70
9	70	9	66	9	74
10	62	10	67	10	74
11	66	11	73	11	72
12	59	12	65	12	75
13	58	13	74	13	70
14	65	14	70	14	72
15	61	15	69	15	73
16	54	16	63	16	68
17	61	17	63	17	75
18	54	18	62	18	69
19	59	19	63	19	74
20	63	20	68	20	72



## **Příloha 10**

### **EXPERIMENT S UPRAVENOU KONSKTRUKCÍ FORMY**

Měření průměru otvoru výstupku

Tab. 7: Průměr otvoru nové konstrukce RPS bodu

$t_{ch1} = 12 \text{ s}$		$t_{ch2} = 10 \text{ s}$		$t_{ch3} = 8 \text{ s}$	
Vzorek	d [mm]	Vzorek	d [mm]	Vzorek	d [mm]
1	3,900	1	3,925	1	3,925
2	3,875	2	3,900	2	3,925
3	3,900	3	3,900	3	3,925
4	3,900	4	3,925	4	3,925
5	3,900	5	3,925	5	3,925
6	3,900	6	3,900	6	3,925
7	3,900	7	3,900	7	3,925
8	3,900	8	3,925	8	3,925
9	3,900	9	3,900	9	3,925
10	3,900	10	3,900	10	3,925
11	3,900	11	3,900	11	3,925
12	3,900	12	3,925	12	3,925
13	3,900	13	3,900	13	3,925
14	3,900	14	3,900	14	3,925
15	3,900	15	3,925	15	3,925
16	3,900	16	3,900	16	3,925
17	3,900	17	3,900	17	3,925
18	3,900	18	3,925	18	3,925
19	3,875	19	3,925	19	3,925
20	3,900	20	3,900	20	3,925

## Příloha 11

### EXPERIMENT S UPRAVENOU KONSKTRUKCÍ FORMY

Analýza na digitálním mikroskopu

Tab. 8: Naměřené hodnoty průměrů a hloubek pro vzorky z  $t_{ch1}$ ,  $t_{ch2}$  a  $t_{ch3}$

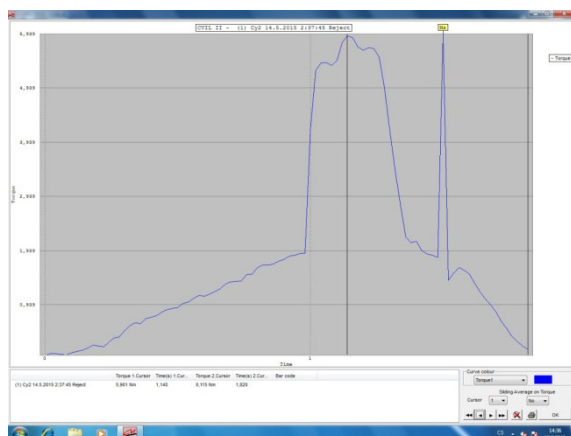
$t_{ch1} = 12 \text{ s}$			$t_{ch2} = 10 \text{ s}$			$t_{ch1} = 8 \text{ s}$		
vzorek	d[mm]	h[mm]	vzorek	d[mm]	h[mm]	vzorek	d[mm]	h[mm]
1	3,91	25,06	1	3,93	25,05	1	3,90	25,03
2	3,85	25,05	2	3,91	25,05	2	3,91	25,03
3	3,90	25,03	3	3,91	25,07	3	3,94	25,03
4	3,95	25,07	4	3,92	25,10	4	3,94	25,03
5	3,91	25,01	5	3,90	25,09	5	3,91	25,05
6	3,92	25,01	6	3,90	25,07	6	3,92	25,04
7	3,90	25,05	7	3,91	25,05	7	3,93	25,03
8	3,90	25,04	8	3,90	25,06	8	3,92	25,04
9	3,91	25,06	9	3,92	25,07	9	3,92	25,03
10	3,90	25,04	10	3,91	25,08	10	3,93	25,03



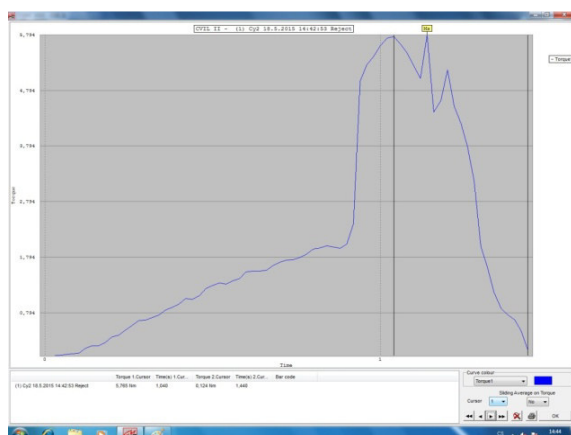
## Příloha 12

### ZKOUŠKA KROUTÍCÍHO MOMENTU

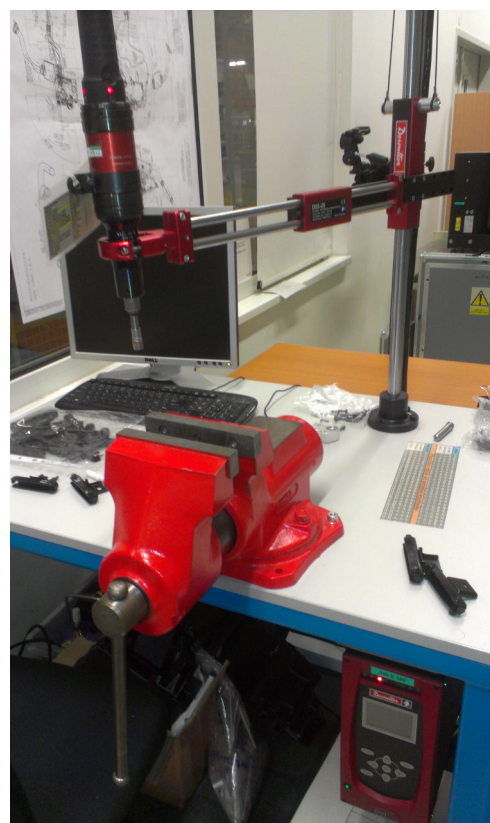
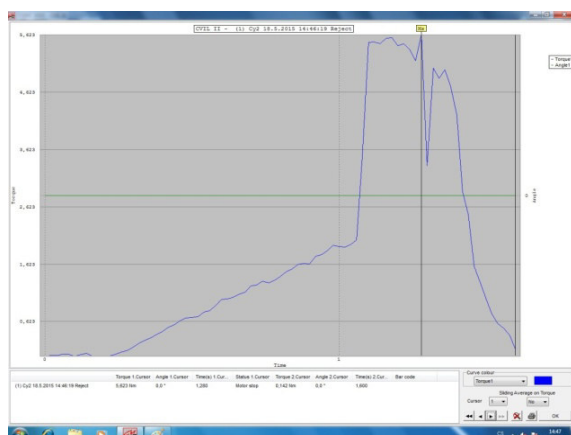
t<sub>ch1</sub>



t<sub>ch2</sub>



t<sub>ch3</sub>



Obr. 6: Grafické znázornění průběhu stržení závitu při určování maximálního krouťícího momentu (vlevo) a pracoviště se zařízením Torque driver - Desoutter ERDL1 8Nm (vpravo)